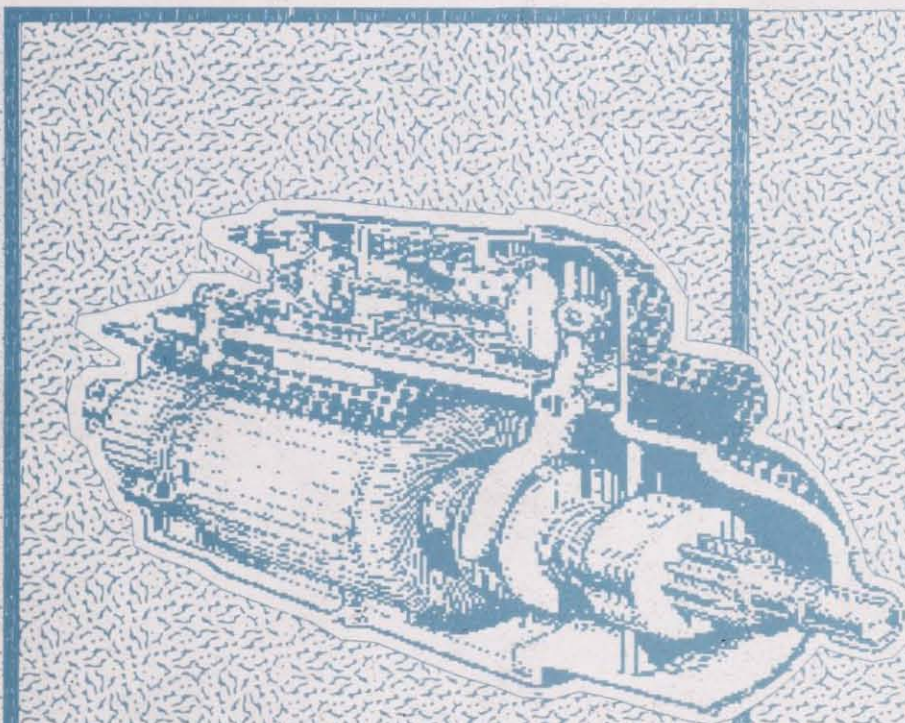


Horacio Buitrón Sánchez

# Introducción al control de motores eléctricos



AM  
K2511  
8.5

#218047  
C.B. 2893964

Horacio/Buitrón Sánchez

# Introducción al control de motores eléctricos

 **AZCAPOTZALCO**  
COBEI BIBLIOTECA

2893964

UAM-AZCAPOTZALCO

RECTORA

Mtra. Mónica de la Garza Malo

SECRETARIO

Lic. Guillermo Ejea Mendoza

COORDINADOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Lic. Enrique López Aguilar

JEFA DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

Lic. Silvia Aboytes Perete

ISBN: 970-654-568-9

© UAM-Azcapotzalco  
Horacio Buitrón Sánchez

Corrección:  
Marisela Juárez Capistrán  
Ilustración de Portada:  
Consuelo Quiroz Reyes  
Diseño de Portada:  
Modesto Serrano Ramírez

Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Azcapotzalco

Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas  
Deleg. Azcapotzalco, C.P. 02200  
México, D.F.

Sección de producción  
y distribución editoriales  
tel. 5318-9222/9223. Fax 5318-9222

1a edición, 1993  
2a. edición, 2000

Impreso en México.



## C O N T E N I D O

	PAG.
I ARRANQUE, CONTROL Y PROTECCION DE MOTORES ELÉCTRICOS.	7
1. INTRODUCCIÓN	9
2. CONTROLADORES	10
Tipos de Controladores	10
Tipos de Elementos	12
3. SIMBOLOGÍA	13
4. DIAGRAMAS	14
Diagrama Esquemático	14
Diagrama de Conexiones	17
Diagrama de Interconexión	18
5. CIRCUITOS BÁSICOS	19
Circuito de Dos Hilos	19
Circuito de Tres Hilos	20
6. ARRANCADORES	22
Clases de Arrancadores	23
Arranque de Motores Jaula de Ardilla	25
Arranque de Motores de Rotor Devanado	37
Arranque de Motores Sincronos	41
Arranque de Motores de CC	44
7. PROTECCIÓN DE MOTORES	48
Protección Contra Sobrecargas	48
Protección Contra Cortocircuitos y Fallas a Tierra	54
8. REFERENCIAS	58
II. APLICACIÓN DE CIRCUITOS DE CONTROL ESTÁTICO	59
1. INTRODUCCIÓN	61
2. ALGEBRA BOOLEANA	62
Postulados y Axiomas	64
3. OPERACIONES LÓGICAS	64
Lógica Positiva y Lógica Negativa	65
Función Lógica Y	66
Función Lógica O	68
Función Lógica NO	69
Función Lógica NO-Y	70



	Función Lógica NO-0	72
	Función Lógica 0 Exclusiva	73
	Memoria	74
	Retardo de Tiempo	76
	Convertidores y Amplificadores	77
4.	APLICACIÓN DE LOS CIRCUITOS LÓGICOS	79
5.	REFERENCIAS	89

## P R Ó L O G O

Estas notas han sido preparadas para servir de material básico, del curso que sobre Control de motores Eléctricos, el autor imparte en la carrera - de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad-Azcapotzalco. El objetivo principal es el de presentar al estudiante los fundamentos del control y protección de motores eléctricos.

El material que se trata se ha dividido en dos partes cuyo contenido se - menciona a continuación:

La primera parte presenta los conceptos básicos sobre el control y protec - ción de motores eléctricos. Se describen las características de los con - troladores, en cuanto a sus funciones, los elementos que los constituyen - y los diferentes diagramas empleados de arranque para los distintos tipos de motores eléctricos. Finalmente se estudian las protecciones básicas - contra sobrecarga y cortocircuito.

La segunda parte es introductoria sobre la aplicación de funciones lógicas a los circuitos de control. Se describe su implementación con relevadores y con circuitos elementales a base de diodos y transistores y se dan ejem - plos de aplicación.

**HORACIO BUITRON SANCHEZ**





ARRANQUE CONTROL Y PROTECCIÓN  
DE MOTORES ELÉCTRICOS

## 1. INTRODUCCIÓN

El motor eléctrico juega un papel preponderante en el progreso industrial, pues constituye la fuerza principal que impulsa las máquinas y procesos en las fábricas e instalaciones industriales.

Dependiendo de la versatilidad buscada para mover un determinado equipo, la industria puede escoger entre los siguientes tipos de motor eléctrico:

- a) Motores de Corriente Continua
- b) Motores Síncronos
- c) Motores de Inducción o Asíncronos
  - Tipo Jaula de Ardilla
  - Tipo Rotor Devanado

En cualquier accionamiento con motores eléctricos, existen -- elementos de conexión y gobierno, mediante los cuales son operados, de acuerdo a las necesidades del trabajo. Por esta razón los dispositivos de control, son tan importantes en la instalación como las máquinas accionadas. Todo el servicio depende de su buen funcionamiento y de la seguridad de su operación.

Originalmente el control de motores se enfocaba a las operaciones de arranque y paro, pero la evolución de los accionamientos, en los que aumentó el número y la variedad de operaciones que habían de realizarse, trajo como consecuencia el desarrollo de nuevas funciones y esquemas de control.

## 2. CONTROLADORES.

Un sistema de control o controlador para un motor eléctrico podría definirse como un dispositivo o conjunto de éstos, que sirve para gobernar de alguna manera predeterminada la operación del motor y que además proporciona algún tipo de protección que asegure su funcionamiento.

Los controladores pueden ser muy sencillos o extremadamente complicados, desde arrancadores manuales del tipo volquete, hasta esquemas de control que contengan una gran cantidad de elementos.

Hoy en día, computadoras y una gran variedad de sofisticados componentes son empleados en procesos automatizados para controlar el arranque, el paro y muchas otras funciones de control.

### TIPOS DE CONTROLADORES.

Dependiendo de su operación pueden clasificarse en: manuales, semiautomáticos y automáticos.

#### Manuales.

El elemento humano interviene durante toda la operación, como sucede cuando se utiliza un reóstato para el arranque de un motor de c.c.

#### Semiautomáticos.

En este tipo de controladores, el operador interviene para -- iniciar un cambio en la condición de operación; por ejemplo, pulsando un botón que permita se energicen contactores y relevadores que realicen una secuencia predeterminada.

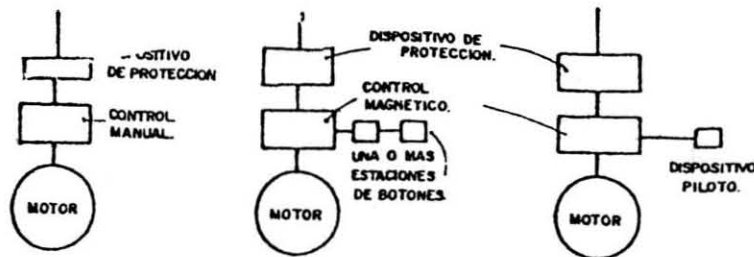


## Automáticos.

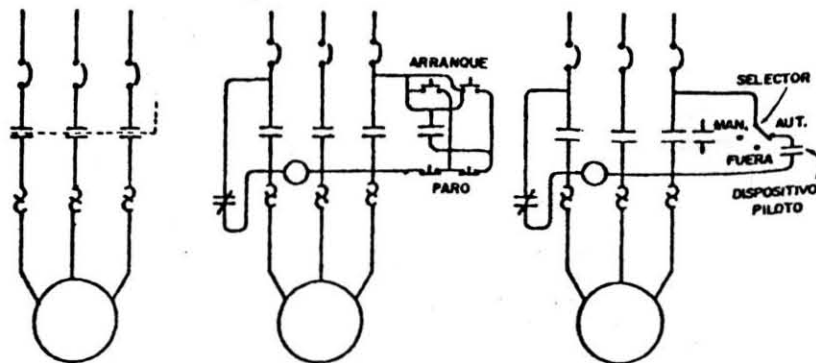
En estos casos el controlador cambia por si mismo su estado de operación, sin la intervención del elemento humano; por ejemplo, los equipos de control para sistemas de bombeo, en donde una secuencia puede iniciarse al operar un interruptor flotador, cuya acción depende de un determinado nivel del líquido.

Otros dispositivos empleados para controlar automáticamente un motor, pueden ser: interruptores de presión, de flujo, de límite, termostatos, etc.

Se habla de control remoto cuando se controla un motor desde un punto alejado; como sucede en las modernas instalaciones, en donde desde un centro de control, se operan motores que pueden no encontrarse en el local donde se realiza el control.



DIAGRAMAS DE BLOQUES.



DIAGRAMAS DE CONEXIONES.

**MANUAL**  
EL CONTROLADOR DEBE  
SER OPERADO MANUAL-  
MENTE.

**SEMIAUTOMATICO**  
EL CONTROLADOR DEBE SER  
MANDADO DESDE LA ESTACION  
DE BOTONES LA CUAL PUEDE  
SER REMOTA.

**AUTOMATICO.**  
EL CONTROLADOR ES  
MANDADO AUTOMATICA-  
MENTE DESDE EL DISPO-  
SITIVO PILOTO.

Fig.1 Tipos de Controladores

## TIPOS DE ELEMENTOS.

De una manera general, los elementos que forman un controlador se pueden clasificar, según su función, en las siguientes categorías: mando, básicos, de salida y auxiliares.

### Elementos de Mando.

Son dispositivos que miden y/o convierten una acción, condición o cantidad física en señales eléctricas.

### Elementos Básicos.

Son aquellos que efectúan la parte de control del sistema. Reciben información de los elementos de mando y la procesan de tal manera, que la señal de salida sea la adecuada en la secuencia de operación del proceso.

### Elementos de Salida.

Toman la información de los elementos básicos y la amplifican al nivel adecuado de potencia para la operación de las máquinas.

### Elementos Auxiliares.

Los más usuales: dispositivos de protección y de señalización, reóstatos, reactancias, transformadores y autotransformadores, etc. los cuales se emplean para realizar funciones específicas en la operación y que son propios de diseños particulares.

En la tabla 1 se tienen varios ejemplos de los tipos de elementos.

### 3. SIMBOLOGÍA

Para la correcta interpretación de proyectos de instalaciones y circuitos de control, es necesario el conocimiento de los símbolos empleados en los mismos. Las unidades representadas por estos símbolos, no pueden tener la misma apariencia física, que cuando se representan por medio de un dibujo o una fotografía, debiéndose memorizar a fin de poder reconocerlas.

Tabla 1 Tipos de Elementos

FUNCIÓN	ELEMENTOS	USO
Mando	Estación de botones, interruptores de presión de límite, de flotador, termostatos, etc.	Sensor o fuente de información.
Básicos	Relevadores, tubos, transistores, válvulas hidráulicas y neumáticas, etc.	Actúan con la información de los elementos de mando. Toman decisiones y proporcionan señales adecuadas de salida.
Salida	Contactores electromagnéticos y electrónicos, solenoides, etc.	Amplifican la información básica al nivel deseado de potencia.
Auxiliares	Reóstatos, reactores, transformadores, autotransformadores, luces piloto, alarmas, dispositivos de protección, etc.	Realizan funciones específicas en el control.



En la figura 2 se presentan símbolos típicos usados en los diagramas de control. Esta simbología cumple las normas de la NEMA y fue adoptada, con algunas modificaciones, por el Subcomité de Tableros del CONNIE. Sin embargo su uso no se ha generalizado completamente, sobre todo entre las compañías fabricantes de dispositivos y tableros de control.

#### 4. DIAGRAMAS

El diagrama es el lenguaje escrito de los circuitos eléctricos pudiendo tomar diferentes formas para resolver diferentes tipos de necesidades.

La mayoría de los circuitos de control, se muestran de tres maneras:

- a) Diagrama Esquemático
- b) Diagrama de Conexiones
- c) Diagrama de Interconexión o de Haces.

##### Diagrama Esquemático.

La mayor ventaja de esta representación, se encuentra en el hecho de que muestra el circuito de control, en la secuencia eléctrica apropiada. Cada componente se presenta en el lugar preciso del circuito eléctrico, sin importar la localización física. Este tipo de diagramas, requieren de un tiempo mínimo para su trazo, además que permiten fácilmente entender la operación del circuito y detectar fallas en el mismo.

Dentro del diagrama esquemático se distinguen el circuito de fuerza o de carga y el circuito de control.

Interrupción																																											
Designación	Interruptor de circuitos	Cortacircuitos con elemento térmico de sobrecarga	Cortacircuitos con elemento magnético de sobrecarga	Cortacircuitos con elementos térmicos y magnéticos de sobrecarga	Interruptores de límite		Interruptores de pedal																																				
					Normalmente abierta	Normalmente cerrado	N.O.	N.C.																																			
					Posición cerrada	Posición abierta																																					
Interruptores de presión y vacío		Interruptor para nivel de líquidos		Interruptor accionado por temperatura		Interruptor de flujo (aire, agua, etc.)																																					
N.O.	N.C.	N.O.	N.C.	N.O.	N.C.	N.O.	N.C.																																				
Fusibles	Selector para trabajo normal		Selector para servicio pasado																																								
Energía o control	Dos posiciones		Dos posiciones		Tres posiciones		Interruptor de 2 posiciones																																				
			<table border="1"><tr><td>A1</td><td>X</td><td></td></tr><tr><td>A2</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>Bajo</td><td></td><td>Alto</td></tr></table>		A1	X		A2		X	Bajo		Alto	<table border="1"><tr><td>A1</td><td>X</td><td></td></tr><tr><td>A2</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>Manual</td><td>Alto</td><td>Auto.</td></tr></table>		A1	X		A2		X	Manual	Alto	Auto.	<table border="1"><tr><td>A1</td><td>X</td><td></td><td></td></tr><tr><td>A2</td><td></td><td>X</td><td>X</td></tr><tr><td>Libre</td><td>Oprimido</td><td>Libre</td><td>Oprimido</td></tr><tr><td>Basculante</td><td></td><td></td><td>Marche</td></tr></table>			A1	X			A2		X	X	Libre	Oprimido	Libre	Oprimido	Basculante			Marche
	A1	X																																									
A2		X																																									
Bajo		Alto																																									
A1	X																																										
A2		X																																									
Manual	Alto	Auto.																																									
A1	X																																										
A2		X	X																																								
Libre	Oprimido	Libre	Oprimido																																								
Basculante			Marche																																								
	Tres posiciones		<table border="1"><tr><td>A1</td><td></td><td></td></tr><tr><td>A2</td><td></td><td></td></tr></table>		A1			A2			<table border="1"><tr><td>A1</td><td></td><td></td></tr><tr><td>A2</td><td></td><td></td></tr></table>		A1			A2			<table border="1"><tr><td>A1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>A2</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>			A1				A2																	
A1																																											
A2																																											
A1																																											
A2																																											
A1																																											
A2																																											
Estaciones de botones						Luces piloto																																					
Contacto momentáneo				Contacto sostenido		Color indicado por la letra																																					
Un circuito		Circuito doble		Cabeza de hongo	Un juego de contactos sencillos	Un juego de contactos dobles	No se oprima para probar		Oprimase para probar																																		
N.O.	N.C.	N.O.	N.C.																																								
Contactos						Bobinas		Relevadores de sobrecarga		Inductores																																	
Operación instantánea				Contactos controlados por tiempo: La acción del contacto se retarda cuando la bobina es		derrivación	serie	Térmicos	Magnéticos	Núcleo de hierro																																	
Con fusible		Sin fusible		Energiza		Desconecta																																					
N.O.	N.C.	N.O.	N.C.	N.O.	N.C.	N.O.	N.C.																																				
Transformadores				Motores de C.A.				Motores de C.C.																																			
Autotransformador	Núcleo de hierro	Núcleo de aire	Corriente	Voltaje doble	Monofásico	Trifásico, en jaula de ardilla	Trifásico, 4 alambres	Rotor devanado	Armadura	Campo en derivación	Campo en serie	Campo compuesto o compensado																															
										(Muestra 4 vueltas)	(Muestra 3 vueltas)	(Muestra 2 vueltas)																															
Alambres				Conexiones		Resistencia			Condensadores																																		
No conectado	Conectado	Energía	Control	Terminal de alambres	Mecánica	Fijo	Ajustable por derivaciones fijas	Resistor fijo o de derivaciones ajustables	Fijo	Ajustable																																	
				0	Interconexión mecánica	RES	RES	RES																																			
				Tierra	Interconexión mecánica	M	RES	RM																																			
				Tierra	Interconexión mecánica	Elemento calefactor																																					
Velocidad (ajustable)	A prueba de enchufe	Timbre	Zumbador	Bocina, sirena, etc.	Medidor	Medidor en derivación	Rectificador de media onda	Rectificador de onda completa	Batería																																		
					Se indica el tipo mediante una letra																																						
					Se indica el tipo mediante una letra																																						
					Se indica el tipo mediante una letra																																						

Fig. 2 Símbolos típicos usados en los diagramas

El primero muestra los componentes de control y protección a través de los cuales el motor es conectado a la fuente de potencia. En tanto que el diagrama de control contiene los elementos que van a poner en funcionamiento los componentes del circuito de fuerza.

En la figura 3 se muestra el diagrama esquemático de un arrancador reversible para un motor trifásico de inducción.

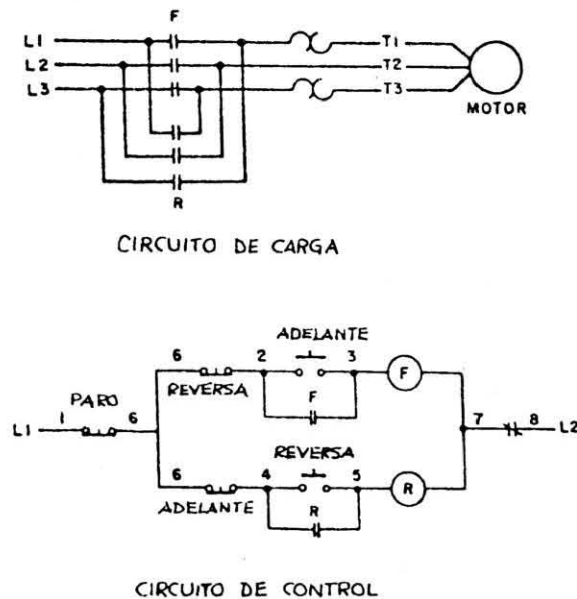


Fig. 3 Diagrama esquemático de un arrancador reversible para un motor trifásico de inducción.



### Diagrama de Conexiones.

Este tipo de diagrama se elabora dibujando los símbolos del equipo usado, distribuidos en la misma forma en que se encuentran físicamente. Todas las fases, terminales, bobinas etc. se muestran en lugar adecuado de cada equipo. Su mayor ventaja es que ayuda a identificar los componentes y cableado del control. Se usa cuando se alambra un sistema o si se quiere seguir el circuito físico para descubrir algunas fallas. La figura 4 muestra el diagrama de conexiones del arrancador mostrado en la figura 3.

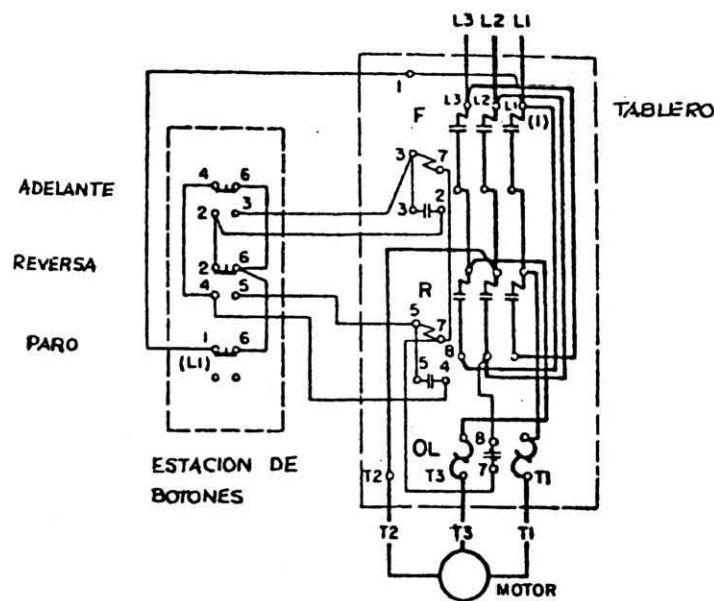


Fig. 4. Diagrama de conexiones de un arrancador reversible para un motor trifásico de inducción.

### Diagrama de Interconexión.

Este diagrama es una forma especial del diagrama de conexiones, el cual muestra solamente las conexiones externas entre los distintos equipos que forman un controlador.

En el diagrama de interconexión en lugar de unir los diferentes componentes de los dispositivos, como contactos y bobinas uno a uno a través de líneas independientes, se utiliza un haz de hilos numerados y rotulados con una línea que va de dispositivo a dispositivo.

En la figura 5 se muestra un diagrama de interconexión para el mismo arrancador mostrado en la figura 3.

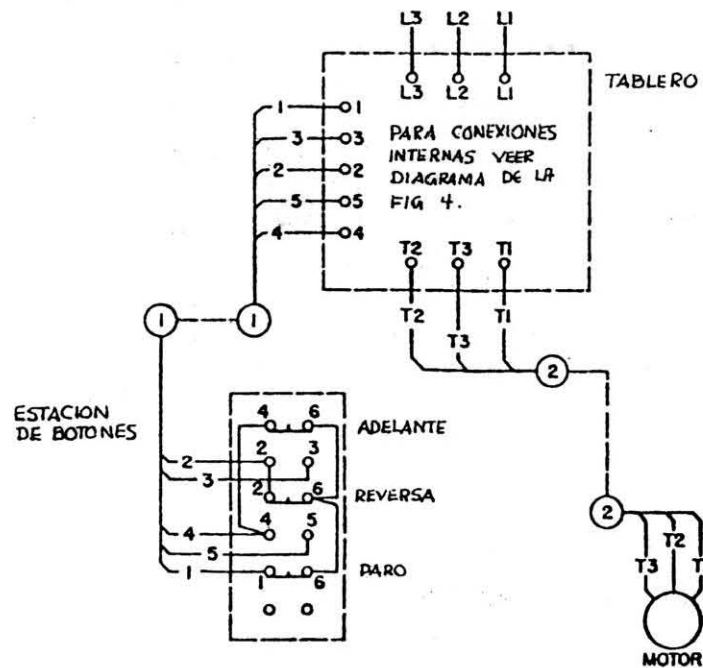


Fig. 5. Diagrama típico de Interconexión.

## 5. CIRCUITOS BÁSICOS.

El primer paso para analizar o diseñar un circuito de control, es investigar tanto como sea posible las funciones que realiza la máquina o dispositivo a controlar; así como también, los diferentes equipos que dicha máquina accione. De esta manera las funciones del circuito pueden ser interpretadas fácilmente.

Dentro de los circuitos de control magnético se distinguen dos tipos básicos:

- a) Circuito de Dos Hilos
- b) Circuito de Tres Hilos

Circuito de Dos Hilos.

En estos circuitos se usa un elemento de mando de acción sostenida, como por ejemplo: interruptor flotador, interruptor de límite, interruptor de presión, etc.

Con referencia a la figura 6, cuando el contacto del elemento de mando se cierre, la bobina M se excitará cerrando los contactos en el circuito de carga accionados por ella.

Si se llega a presentar una baja tensión o falta de esta, a pesar de estar cerrado el contacto del dispositivo de mando, la bobina no produce el campo necesario para mantener cerrados los contactos y el motor se desconecta. Debido a esta característica el circuito de dos hilos se conoce también, como de liberación por baja tensión.

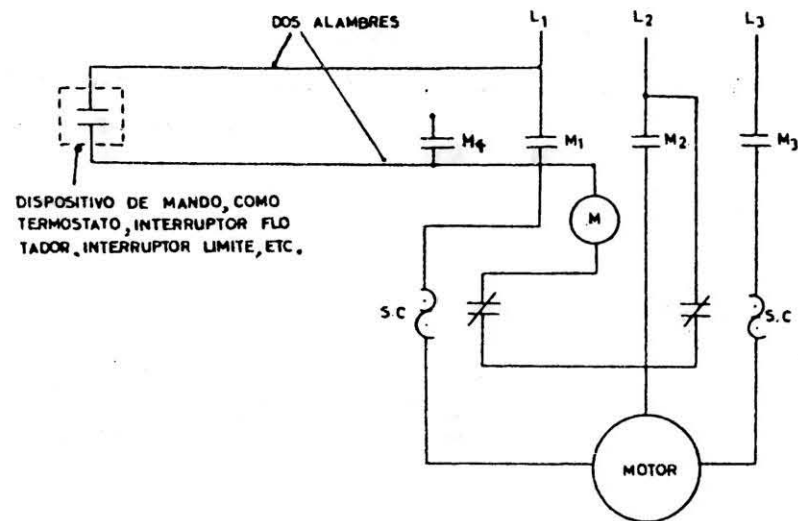


Fig. 6. Diagrama de conexiones para un arrancador con dos hilos al dispositivo de mando.

Este tipo de circuitos se utiliza en el control de equipos de bombeo, de presión compresores, etc. Sin embargo, hay otros muchos procesos en donde un arranque inesperado al regresar la tensión a la línea, puede presentar la posibilidad de dañar la máquina, al mismo proceso o inclusive al operador.

#### Circuito de Tres Hilos

Este tipo de circuitos de control, se conoce como de pro-

tección contra falta de tensión y/o contra baja tensión.

Como el circuito de dos hilos, es un circuito básico de control.

Se caracteriza porque cuando la bobina se desconecta por baja o falta de tensión, no se energizará cuando esta regrese. Con esto se obtiene protección contra el arranque espontáneo de las máquinas al restablecerse la alimentación. Un operario tendrá que oprimir el botón de arranque para reanudar la operación.

En la figura 7 se muestra el diagrama de conexiones para un arrancador con tres hilos al dispositivo de mando, que en este caso es una estación de botones con contactos de acción momentánea.

En este caso cuando la bobina se desconecta por baja o falta de tensión, no se energizará cuando esta regrese. Con esto se obtiene protección contra un arranque espontáneo del motor al restablecerse la alimentación. Un operario tendrá que oprimir el botón de arranque para reanudar la operación.

Se podrá notar en la figura el contacto  $M_4$  que no se emplea en el circuito de dos hilos. Este es el contacto de retención también conocido como de enclave.



Si bien los arrancadores manuales son una solución a bajo costo para el arranque y paro de motores, la tendencia actual es hacia el empleo de arrancadores magnéticos, que permiten no solo la operación remota del motor, sino también la operación automática, respondiendo a señales de dispositivos piloto, tales como interruptores de flujo, de límite, de presión, etc.

Con frecuencia los arrancadores de motores asociados a un proceso particular, son agrupados con el equipo de protección en una unidad compacta, que puede incluir también señalización y mediciones, constituyendo un centro de control de motores.

#### CLASES DE ARRANCADORES.

La NEMA ha agrupado los arrancadores en cinco clases, que son descritas a continuación.

##### Clase A.

En la Clase A se agrupan los arrancadores para corriente alterna manuales y magnéticos, en los cuales la operación de los contactos es en aire o en aceite. Especificados para servicio en 600 V o menos, deben ser capaces de interrumpir corrientes de sobrecarga de hasta 10 veces la corriente nominal del motor. Esto no incluye corrientes de cortocircuito.

##### Clase B.

La Clase B es similar a la anterior solo que los arrancadores son para servicio en corriente directa.



Clase C y D.

Las Clases C y D corresponden respectivamente a arrancadores para corriente alterna y corriente directa, capaces de interrumpir corrientes mayores que las de sobrecarga.

Clase E.

La Clase E agrupa los arrancadores en corriente alterna, para servicio en voltajes desde 2400 hasta 4600 volts y que son capaces de interrumpir corrientes mayores que las de sobrecarga; esto es, cortocircuitos y fallas a tierra.

En el caso de motores que operan a voltajes mayores que los especificados o cuya capacidad exceda de 2500 HP para motores de inducción y 3000 HP para motores síncronos operando con factor de potencia unitario, el arranque se realiza a través de interruptores de potencia que si bien no están diseñados para operación repetida, proveen protección contra cortocircuito.

## ARRANQUE DE MOTORES JAULA DE ARDILLA.

Los motores en jaula de ardilla son máquinas con una impedancia en su devanado estatórico, que permite su conexión directa a la red sin peligro de destruir sus devanados. Sin embargo, la corriente demandada en el arranque, si bien no perjudica al motor, si puede ocasionar perturbaciones en la red de alimentación, tanto por su intensidad como por el bajo factor de potencia con que es absorbida.

Esta situación y el hecho de que el par pueda tener efectos no deseados en la carga accionada, trae como consecuencia el empleo de métodos de arranque, en los cuales la conexión del motor ya no se hace de manera directa, sino a través de equipos con los que se reduce la tensión aplicada durante la aceleración.

En el arranque a tensión reducida se disminuye la corriente y el par durante el período de arranque. La corriente, en proporción directa con la reducción de la tensión, en tanto que el par lo hace con el cuadrado de esta reducción. Esto es:

$$I_{\text{reducida}} = \frac{V_{\text{reducida}}}{V_{\text{nominal}}} I_{\text{arranque normal}}$$

$$T_{\text{reducido}} = \left( \frac{V_{\text{reducido}}}{V_{\text{nominal}}} \right)^2 T_{\text{arranque normal}}$$

Existen varias formas o métodos de arranque a tensión reducida, entre los cuales se tienen:

- a) Autotransformador
- b) Resistencias Primarias
- c) Reactancias Primarias

d) Estrella - Delta

e) Devanado Partido

En el último de los métodos mencionados, la disminución de la corriente y el par no se logra reduciendo la tensión al arranque, pero se acostumbra incluirlo en este grupo por los resultados obtenidos.

Es necesario tomar en cuenta, que cuando se trata de reducir la corriente, aparejada, aparece una reducción del par que la máquina puede entregar. Independientemente de cual sea la magnitud a regular, la otra siempre estará presente.

En el caso en que se desee reducir el par para lograr una aceleración más suave de la carga, el arranque a tensión reducida esta sin discusión, pero cuando se desea reducir la corriente, por restricciones de las compañías suministradoras, puede suceder que la aparejada disminución del par ocasione problemas al impulsar la carga. Sin embargo, entre los métodos mencionados, se puede encontrar algunos como el de autotransformador cuya reducción del par por amper reducido no es tan crítica.

Una comparación de los métodos empleados para el arranque de motores de inducción jaula de ardilla se tiene en la tabla 2

#### Arranque a Tensión Plena.

El método más sencillo y económico de arranque para los motores de inducción jaula de ardilla, es conectando la máquina directamente a la red, para lo cual se pueden emplear dispositivos de arranque manuales o magnéticos. En este método se tiene el máximo par de arranque y el mínimo tiempo de aceleración, pero también se produce el máximo disturbio en el sistema de distribución.

Tabla 2. Comparación de los Métodos de Arranque Para Motores de Inducción Jaula de Ardilla.

TIPO	VOLTAJE MOTOR	CORRIENTE MOTOR	CORRIENTE LINEA	PAR	EFICIENCIA PAR
Voltaje Pleno	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Autotransformador :					
Derivación 80%	0.8	0.8	0.64	0.64	1.0
Derivación 65%	0.65	0.65	0.42	0.42	1.0
Derivación 50%	0.5	0.5	0.25	0.25	1.0
Resistencias Primarias :					
Paso 80 %	0.8	0.8	0.8	0.64	0.8
Paso 65 %	0.65	0.65	0.65	0.42	0.65
Paso 50 %	0.5	0.5	0.5	0.25	0.5
Reactancias Primarias	Los valores son los mismos que para el anterior				
Estrella - Delta	1.0	0.33	0.33	0.33	1.0
Devanado Partido 50%:					
Mot. Baja Veloc.	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0
Mot. Alta Veloc.	1.0	0.7	0.7	0.5	0.7
Devanado Partido 75%:					
Mot. Baja Veloc.	1.0	0.75	0.75	0.75	1.0

- Notas:
- 1) Todos los valores están expresados por unidad.
  - 2) La eficiencia del par se obtiene dividiendo el par entre la corriente en el motor.
  - 3) Motores de baja velocidad se consideran de 514 rpm y menores.



Fig. 8. En la figura se muestra la conexión del motor y curvas típicas par corriente contra velocidad durante el arranque a tensión plena.

#### Arranque con Autotransformador.

El arranque con autotransformador es generalmente el más costoso de los métodos de arranque a tensión reducida, pero tiene la ventaja de proporcionar un mayor par por amper reducido.

En el arranque, la corriente que toma el motor es proporcional a la tensión aplicada en sus terminales; sin embargo, por la acción transformadora, la corriente de línea se reduce en proporción con el cuadrado de la reducción de tensión.

Una vez que el motor se ha acelerado, el autotransformador es removido del circuito, aplicándose la tensión completa en las terminales del motor.

Durante esta última operación el motor puede quedar por un instante desconectado de la fuente de alimentación. En este caso se dice que el arranque es de transición abierta y tie-

ne la desventaja de un posible pico de corriente al momento de conectar el motor a la red. Para evitarlo se pueden emplear arrancadores con transición cerrada, en los cuales el motor nunca queda desconectado del sistema. En las figuras 9 y 10 se muestran los arreglos para el arranque con transición abierta y transición cerrada.

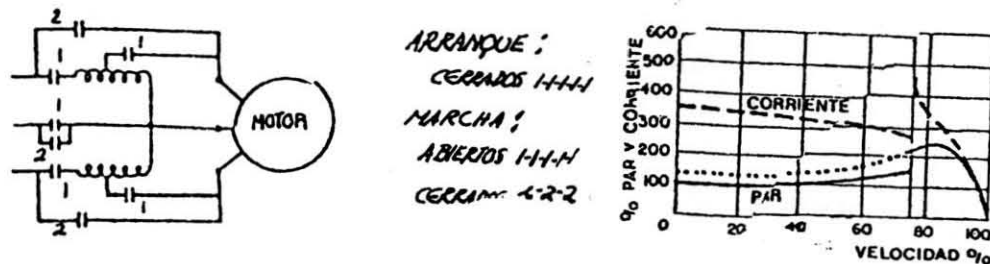
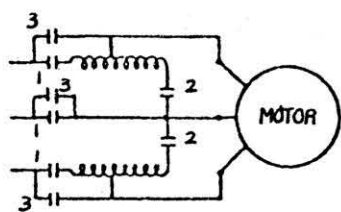


Fig. 9. En la figura se muestra la secuencia para la conexión del motor durante el arranque con autotransformador con transición abierta. También se tienen curvas típicas par-corriente contra velocidad en donde se puede observar el pico de corriente durante la transición.



ARRANQUE:  
 CERRADOS 1-1-1  
 CERRADOS 2-2  
 TRANSICION:  
 ABIERTOS 2-2  
 MARCHA:  
 CERRADOS 3-3-3  
 ABIERTOS 1-1-1

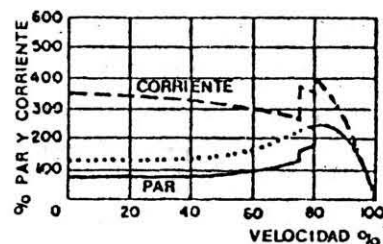


Fig. 10. Diagrama de conexiones del motor y curvas típicas par-corriente contra velocidad durante el arranque con autotransformador con transición cerrada.

El uso de autotransformadores conectados en delta abierta, está muy difundido, pero esta conexión puede ocasionar durante el arranque, disturbios en la línea que como consecuencia disminuyen el par ya reducido. Esta disminución no suele ser tan crítica en la mayoría de las aplicaciones, sin embargo, cuando se prefiere tener el par máximo se completa el autotransformador, conectándose en estrella.

Los autotransformadores son usualmente suministrados con dos o tres derivaciones, lo que permite hacer ajuste de las condiciones de arranque. Su capacidad acorde con la capacidad del motor, también toma en cuenta el ciclo de servicio de acuerdo con la aplicación a la que esté destinada.

#### Arranque con Resistencias Primarias.

En este método de arranque se emplean resistencias en serie con cada fase del motor, cuyo valor se va reduciendo en uno o



más pasos durante la aceleración, para quedar totalmente fuera, cuando el motor se ha acelerado.

En el arranque con resistencias se puede obtener un par de arranque elevado, pero su eficiencia es baja, en comparación con el arranque por autotransformador.

La transición cerrada es inherente en este método de arranque y si bien no se tiene el problema de picos de corriente, si pueden presentarse valores elevados, dependiendo de la duración de los pasos de reducción de la resistencia. Esto puede observarse en las curvas mostradas en la figura 11

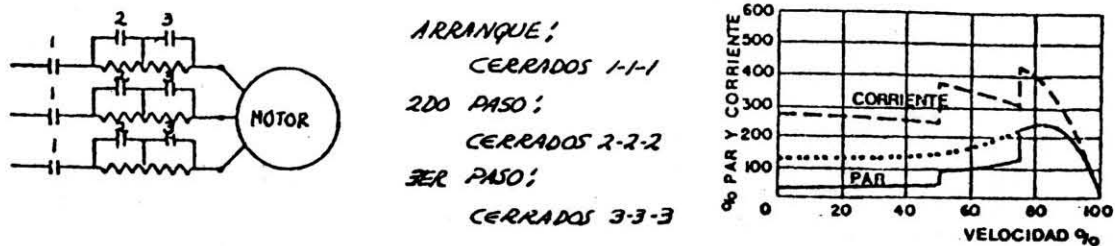


Fig. 11. Diagrama de conexiones del motor y curvas típicas par-corriente contra velocidad durante el arranque con resistencias.

### Arranque con Reactancias Primarias.

Este método de arranque es similar al de resistencias pero a diferencia de este, las reactancias no pueden ser cortocircuitadas durante la aceleración; si bien, como en el caso del autotransformador, van provistas de derivaciones para hacer ajustes en el campo.

En comparación con las resistencias, las reactancias consumen un mínimo de potencia; sin embargo, tienen el inconveniente de agudizar el bajo factor de potencia que se presenta durante el arranque.

El arranque con reactancias es generalmente aplicado en motores de gran capacidad y en voltajes arriba de 600 V.

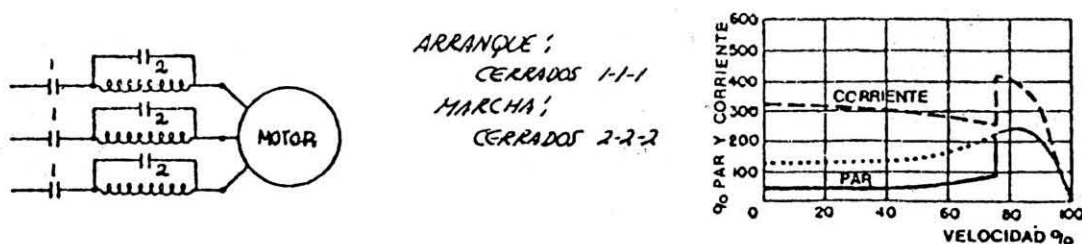


Fig. 12 Diagrama de conexión del motor y curvas típicas par-corriente contra velocidad durante el arranque con reactancias.

### Arranque Estrella-Delta.

Este método de arranque es aplicable a motores diseñados para funcionar normalmente en conexión delta y consiste en conectar los devanados del motor en estrella durante el arranque para pasarlos a conexión en delta una vez que el motor se ha acelerado.

La eficiencia del par obtenido es unitaria, como en el caso del autotransformador, se reduce en la misma proporción de la reducción de la corriente, pero la magnitud es baja, de un tercio del que se obtendría si se arrancara a tensión plena. Por esta razón no es recomendable cuando se tengan cargas de alta inercia o donde se requiere un par elevado durante la aceleración.

Los arrancadores estrella-delta se fabrican para transición abierta y para transición cerrada. Estos últimos incluyen resistencias a través de las cuales el motor se conecta durante la transición.

Los arrancadores en transición abierta son normalmente más económicos que los de autotransformador o de resistencias; sin embargo, los de transición cerrada, pueden llegar a ser más costosos en algunos rangos que los de autotransformador.



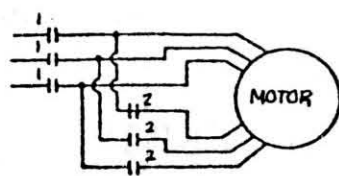
Fig. 13. Diagrama de conexión del motor y curvas típicas par-corriente contra velocidad durante el arranque estrella-delta.

### Arranque con Devanado Partido.

El arranque por devanado partido es el más sencillo y generalmente el más económico de los métodos empleados para reducir la corriente en el arranque de motores de inducción.

Se aplica en motores con su devanado seccionado en dos partes que se conectan en paralelo, como los motores diseñados para operar a dos tensiones. Básicamente consiste en conectar una sección del devanado durante el arranque y una vez que el motor se ha acelerado, conectar la segunda sección.

La eficiencia del par es baja para motores de alta velocidad, arriba de 514 rpm, y aproximadamente unitaria a velocidades menores, si bien la magnitud del par es baja durante la aceleración, particularmente a la mitad de la velocidad, cuando está operando con solo una parte del devanado. Por este razón no es recomendable cuando se tengan cargas de alta inercia.



ARRANQUE:  
CERRADOS 1-1-1  
MARCHA:  
CERRADOS 2-2-2

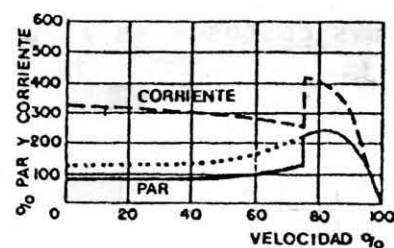


Fig. 14. Diagrama de conexión del motor y curvas típicas par-corriente contra velocidad durante el arranque por devanado partido.

### Cálculo de la Caída de Tensión.

La caída de tensión en la instalación de un motor puede ser dividida en dos categorías: caída de tensión en estado estable y caída de tensión durante el arranque. En particular es de interés determinar esta última, pues de los valores obtenidos depende en gran medida el empleo de arrancadores a tensión reducida.

Normalmente la CFE permite hasta un 10% de caída de tensión, dependiendo de las condiciones locales, obligando a empleo de arrancadores a tensión reducida, cuando este valor se rebasa con objeto de evitar perturbaciones en la red de distribución.

Para realizar un cálculo rápido y determinar si es necesario un arrancador a tensión reducida o no, se puede utilizar la siguiente formula:

$$\% \Delta V = \frac{KVA_{RB}}{KVA_{RB} + KVA_{CC}} \times 100$$

Donde:  $\Delta V$  = caída de tensión  
 $KVA_{RB}$  = Potencia aparente de arranque  
 $KVA_{CC}$  = Potencia interruptiva en las terminales del motor

Para aplicar esta fórmula es necesario conocer la potencia interruptiva y la potencia aparente de arranque. Esta última se puede calcular en base a la letra de código con la que se indican los motores y que proporciona los KVA/HP a rotor bloqueado o bien aplicando las fórmulas de cálculo de la potencia aparente en base a la tensión y a la corriente.

## EJEMPLOS DE CÁLCULO.

### 1. Motor Jaula de Ardilla: 500 HP

Corriente nominal: 120 A

Tensión nominal: 2.4 KV

Letia Codigo F: 5.59 KVA/HP a rotor bloqueado

Potencia interruptiva: 103 MVA de la red.

$$\begin{aligned}KVA_{RB} &= 500 \times 5.59 \\ &= 2795 \text{ KVA}\end{aligned}$$

$$KVA_{CC} = 103,000 \text{ KVA}$$

$$\begin{aligned}\Delta V\% &= \frac{2795 \times 100}{103,000 + 2795} \\ &= 2.64 \%\end{aligned}$$

Resulta arranque directo.

### 2. Motor Jaula de Ardilla: 1500 HP

Corriente nominal: 360 A

Tensión nominal: 2.4 KV

Letra Codigo: No marcado

Potencia interruptiva: 60 MVA de la red.

$$\begin{aligned}I_{ARRANQUE} &= 6 \times 360 \\ &= 2160 \text{ A} \\ KVA_{RB} &= \sqrt{3} \times 2.4 \times 2,160 \\ &= 9860 \text{ KVA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta V\% &= \frac{9,860}{60,000 + 9,860} \times 100 \\ &= 14\%\end{aligned}$$

Resulta arranque a tensión reducida

## ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN DE ROTOR DEVANADO.

Debido a la complejidad de la construcción del rotor y al -- equipo necesario para su operación, la instalación de un motor de rotor devanado es más costosa, en comparación con la de un equivalente jaula de ardilla. Sin embargo, la baja corriente y el alto par que se obtienen con este tipo de máquinas, así como también la suavidad en su aceleración, lo ha--cen ideal para muchas aplicaciones y su empleo debe tenerse en consideración.

En contraste con los motores de inducción jaula de ardilla, - en los motores de rotor devanado, la corrientes y el par son limitados mediante la inserción de resistencias en el circuito del rotor. En la figura 15 se muestran curvas típicas de par y corriente durante la aceleración con diferentes valores de resistencia. Como se puede observar, el bajo par de arranque y la corriente elevada que se tiene al no insertar ninguna resistencia hacen que el motor raramente sea arrancado con el rotor cortocircuitado.

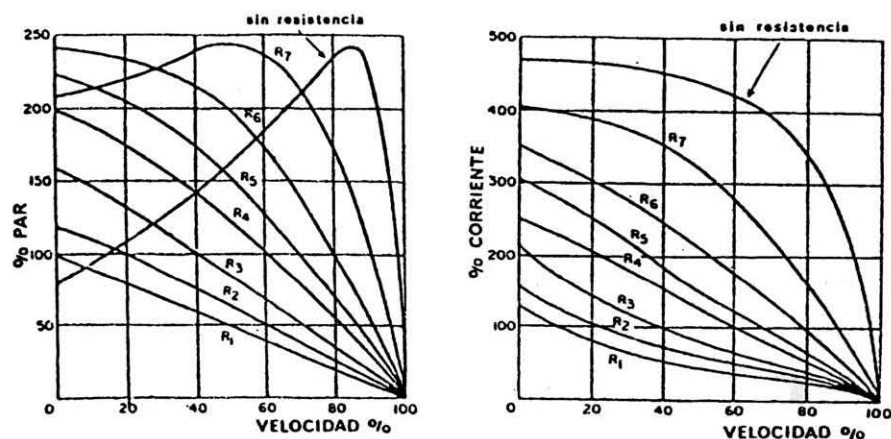


Fig. 15 Par y corriente durante la aceleración de un motor de rotor devanado, para varios valores de resistencia en el circuito del rotor.



En los arrancadores para motores de rotor devanado se pueden identificar dos partes, una que conecta el estator a la línea conocida como control primario y otra que gobierna las resistencias introducidas en el rotor, conocida como control secundario.

Las condiciones para el control primario son similares a las de los motores jaula de ardilla arrancados a tensión completa. En el control secundario se encuentran diferencias que definen diversos métodos de aceleración. Sin embargo en todos ellos se acostumbra mantener la corriente de arranque en un 200% de la corriente nominal y que no exceda en promedio de 150% durante la aceleración.

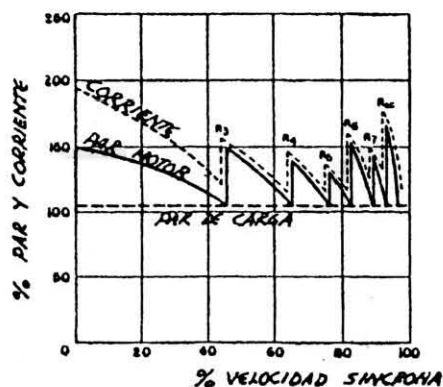


Fig. 16 La figura muestra la variación del par y la corriente durante la aceleración de un motor de rotor devanado

#### Aceleración Manual.

El empleo de reóstatos conversionales de operación manual, -- como el mostrado en el diagrama de la fig. 17, es frecuente sobre todo en motores cuyas capacidades no excedan de 30 HP.

Los reóstatos pueden ser diseñados para utilizarse únicamente durante la aceleración desconectándose completamente al terminar la operación. También pueden fabricarse para uso continuo pudiéndose dejar en alguna posición intermedia, lo que --permite emplearlos para el control de la velocidad

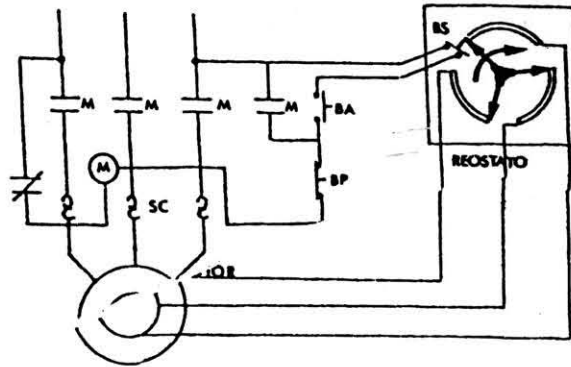


Fig. 17 Diagrama simplificado de un arrancador magnético para un motor de rotor devanado de contactos deslizantes.

#### Aceleración Automática.

La aceleración de los motores de rotor devanado puede efectuarse con arreglos de dispositivos de control magnético, en donde solo basta pulsar un botón para que toda la operación de arranque se realice. En estos circuitos, el control primario y el secundario, se mandan con el mismo dispositivo --de entrada.

La aceleración automática puede ser realizada por tres métodos:

- a) Aceleración por corriente
- b) Aceleración por frecuencia
- c) Aceleración a tiempo fijo

como su nombre lo indica cada método utiliza diferentes variables para iniciar los pasos de cambio de resistencia.

En la aceleración por corriente se emplean relevadores serie o de mínima corriente en el circuito del rotor, requiriéndose que la corriente disminuya a un determinado valor para -- realizar la desconexión de cada paso de resistencia.

En la aceleración por frecuencia, se utilizan relevadores de frecuencia en el rotor para determinar la velocidad a la que deben desconectarse los pasos de resistencia.

La aceleración a tiempo fijo es quizás el más utilizado de los métodos por el menor costo que representa. En este método la desconexión de los pasos de resistencia está determinada, por tiempos preestablecidos, sin importar la velocidad del motor o la corriente demandada, requiriéndose una coordinación adecuada con el ciclo de arranque para prevenir pares elevados y picos de corriente durante la aceleración. En la figura 18 se muestra el diagrama simplificado de un arrancador con aceleración a tiempo fijo

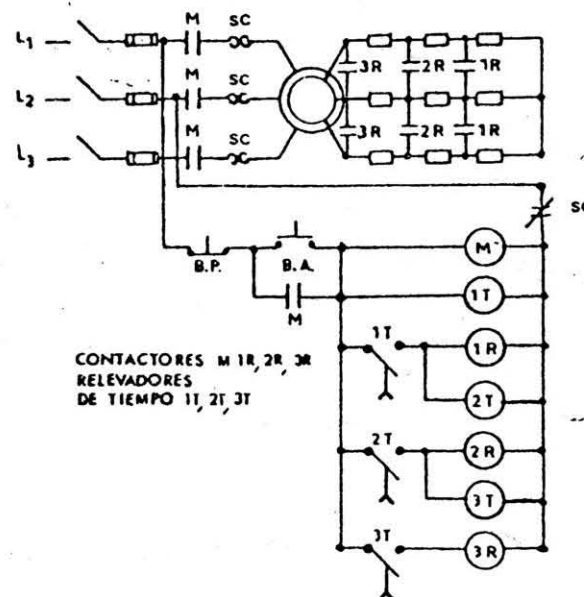


Fig. 18 Diagrama simplificado de un arrancador con tres pasos de resistencia para un motor de rotor devanado en donde la aceleración es a tiempo fijo.

## ARRANQUE DE MOTORES SINCRONOS

Un motor síncrono convencional no es capaz de arrancar por sí mismo y requiere de medios auxiliares, tal como devanados amortiguadores o de arranque que se instalan al rotor en las caras polares y que puestos en corto constituyen -- propiamente una jaula de ardilla.

Básicamente se tienen tres métodos de arranque de los motores síncronos:

- a) Arranque con una Máquina Auxiliar
- b) Arranque a Baja Frecuencia
- c) Arranque Asíncrono

El arranque con una máquina auxiliar se aplica a motores que carecen de devanados amortiguadores. Para arrancar, se emplea un motor acoplado a la flecha del motor síncrono, que lo lleva a su velocidad nominal. En ese momento se conecta la fuente de corriente directa y se le da al motor la excitación necesaria para que, operando como alternador, produzca la tensión de la red. La conexión a la red se realiza -- de manera similar a un alternador, y una vez efectuada, se desacopla el motor auxiliar, quedando el motor como tal, -- con su alimentación de CA al estator y la CC de excitación aplicada al rotor.

Una alternativa de arranque para motores sin jaula de ardilla para el arranque a baja frecuencia consiste en alimentar el estator a una frecuencia aproximadamente del 0.5% de la frecuencia nominal, manteniendo la excitación dentro de los valores óptimos. Con esto se produce un par que permite a bajas velocidades sincronizar al motor. Una vez el motor -- en sincronía, la frecuencia de la fuente se va acelerando -- poco a poco hasta alcanzar la nominal.

El arranque asíncrono merece especial atención. Consiste --

en acelerar el motor síncrono como si fuera de inducción - por medio de la jaula de ardilla que se instala en el rotor. La conexión a la fuente de CA se realiza de manera - directa o a través de algún método a tensión reducida que ya han sido descritos. Una vez acelerado, se aplica la -- excitación para que el motor se sincronice.

La sincronización se realiza mediante el empleo del relevador de frecuencia de campo polarizado Fig. 19 que permite no solo aplicar la excitación en el momento más apropiado, sino que es caso de que la máquina salga de paso la renueve y si las condiciones lo permiten efectuar nuevamente la sincronización.

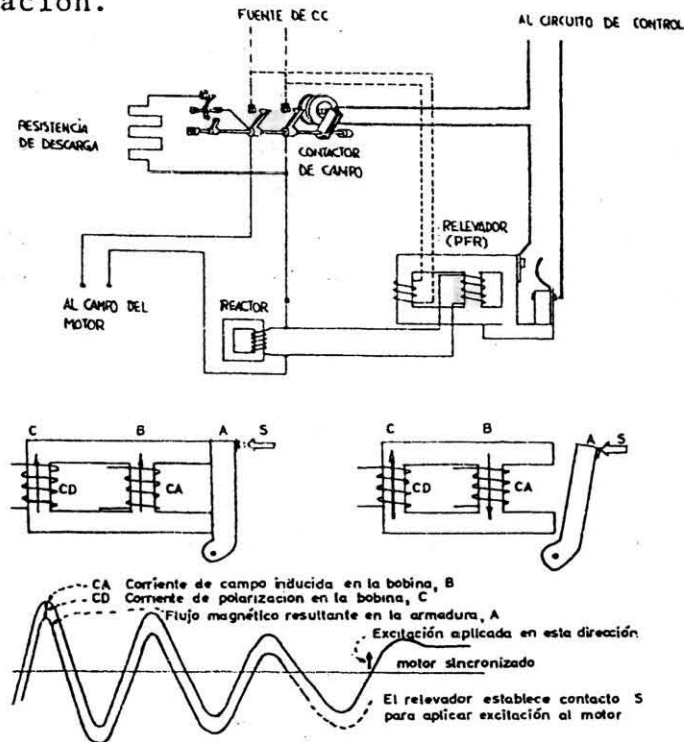


Fig. 19 Componentes y operación del Relevador de Frecuencia de Campo Polarizado

En la Fig. 20 se muestra el diagrama de un arrancador en el cual se emplea un relevador de frecuencia de campo polarizado para la aplicación de la excitación. El relevador está dotado de dos bobinas, una conectada a la fuente de CC y la otra a través de una reactancia en el circuito de descarga del motor. R es una resistencia llamada de descarga, cuyo valor oscila entre 5 y 15 veces la resistencia del campo del motor y que tiene por objeto limitar las altas corrientes, inducidas en el campo durante la aceleración.

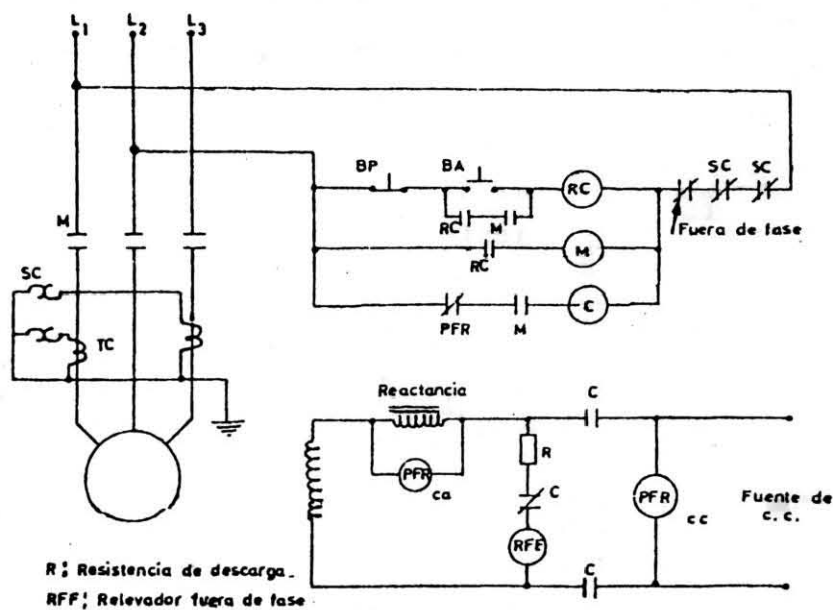


Fig. 20 Diagrama de un arrancador a tensión plena para un motor síncrono, con un relevador de frecuencia de campo polarizado.

## ARRANQUE DE MOTORES DE CC

Excepto en tamaños muy pequeños, 2 HP máximo a 230 v, los motores de cc requieren ser arrancados a tensión reducida. Usualmente para esto se emplean resistencias insertadas en el circuito de armadura que limitan la corriente durante el arranque y que son eliminadas por pasos conforme se va acelerando el rotor.

El valor y el número de pasos de resistencia está de acuerdo, entre otros, a la necesidad de una buena conmutación, así como también una aceleración suave, esto es, que el par tenga una mínima variación conforme se va acelerando el movimiento de la carga. Sin embargo el valor de la resistencia aceleradora debe ser tal que permita tener como máximo del 125 al 200% de la corriente nominal.

La aceleración se puede realizar manual o automáticamente.

En la fig. 21 se tiene el diagrama de un arrancador manual, que utiliza un reóstato plano, consistente en una resistencia de varias tomas o derivaciones que se conectan a unas terminales dispuestas en forma circular sobre la placa del arrancador. La resistencia es eliminada por medio de una palanca o manivela.

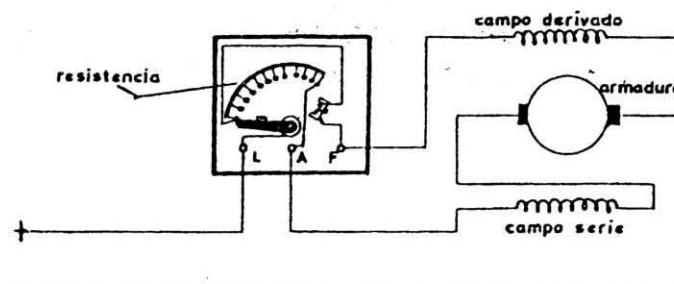


Fig. 21 Arrancador Manual de tres puntos conectado a un motor compuesto.



La aceleración automática puede ejecutarse aplicando los siguientes métodos:

- a) A Límite de Tiempo
- b) A Límite de Corriente

En los arrancadores a límite de tiempo se emplean temporizadores con los cuales se establece una secuencia en la eliminación de los pasos de resistencia. Esta secuencia depende de los tiempos de ajuste de los relevadores de tiempo. En la figura 22 se tiene el diagrama simplificado de un arrancador de este tipo con tres pasos de resistencia.

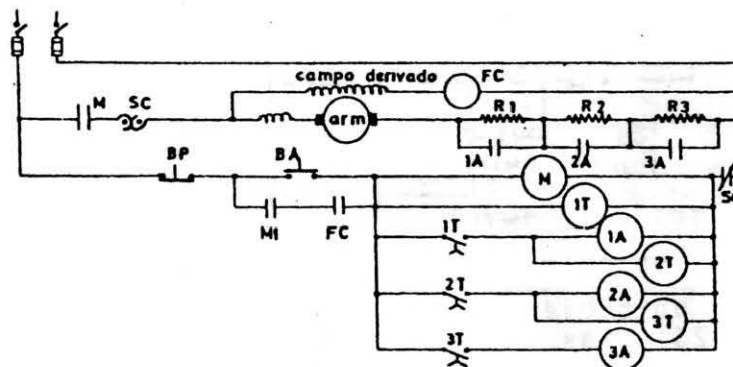


Fig. 22 Diagrama esquemática de un arrancador a límite de tiempo para un motor derivado de velocidad constante con protección por falla de campo (FC).

En los arrancadores a límite de intensidad se emplean relevadores de corriente o de tensión, los cuales convenientemente colocados en el circuito del motor, van accionando dependiendo de las condiciones de la aceleración. Así mientras que en los arrancadores a límite de tiempo la secuencia se realiza a tiempos fijos, en los de a límite de intensidad, los pasos se ajustan, de tal manera que si la carga es ligera el motor alcanzará su velocidad de régimen

más rápidamente que si se arrancara con una carga pesada.

En la Fig. 23 se muestra el diagrama lineal de un arrancador para un motor de c.c. en derivación, que utiliza relevadores serie o de mínima corriente para la aceleración.- Estos relevadores requieren que la corriente disminuya a un predeterminado valor en cada paso de resistencia, para continuar con la aceleración.

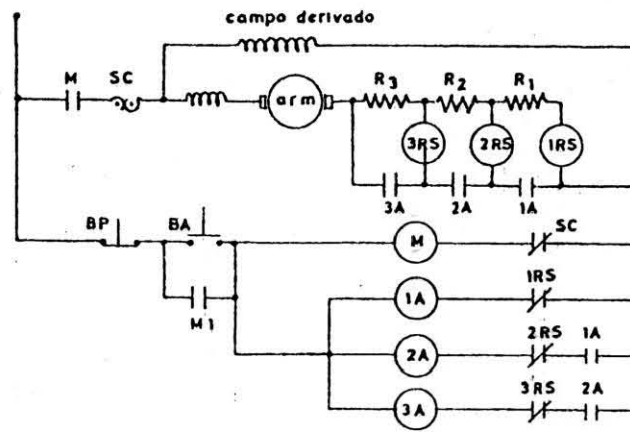


Fig. 23 Diagrama de un arrancador para un motor derivado a límite de intensidad con relevadores serie.

En los motores en derivación en donde el flujo es constante, la fuerza contra electromotriz generada en la armadura es una medida de la velocidad y puede ser empleada para -- iniciar los pasos de reducción de la resistencia. En la Fig. 24 se muestra el diagrama de un arrancador a límite de corriente que emplea relevadores de tensión en paralelo con la armadura, ajustados para operar al 40, 60 y 80% de la tensión de alimentación. De esta manera al acelerarse el motor y con esto aumentar el valor de la tensión en las terminales de armadura, los relevadores de tensión van operando, desconectando las resistencias.

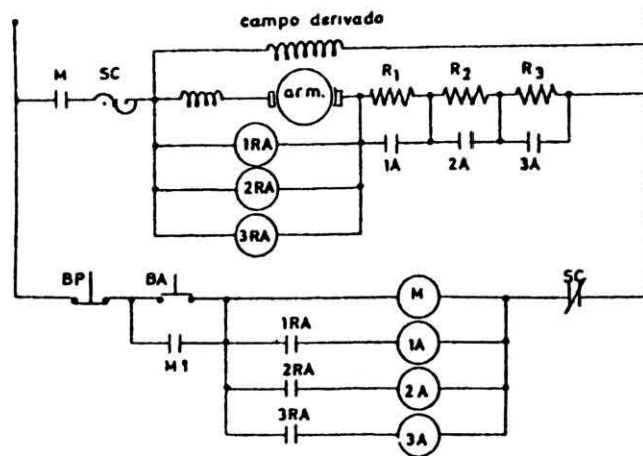


Fig. 24 Diagrama simplificado de un arrancador a fuerza contraelectromotriz, conectado a un motor en derivación.

Los motores de corriente continua pueden ser arrancados desde una fuente de voltaje variable. En este caso el voltaje se va incrementando conforme el motor se acelera manteniendo la corriente y el par dentro de valores apropiados. Este método elimina la necesidad de resistencias en el circuito de armadura para el arranque.

## 7 PROTECCION DE MOTORES.

Todos los componentes de un motor eléctrico requieren de alguna protección. El grado de protección dependerá de las condiciones de servicio y de la importancia de la aplicación y comienza con una selección apropiada del motor.

La protección puede ser en forma de una cubierta, una señal auditiva o luminosa de alarma o bien la desconexión del motor de la línea para prevenir una falla de las componentes mecánicas o eléctricas que pueden dar como resultado el deterioro del motor.

Los controladores usualmente incluyen equipos de protección para el motor y los circuitos asociados a él, principalmente contra sobrecargas y cortocircuitos.

### PROTECCION CONTRA SOBRECARGAS

Una sobrecarga se identifica con una sobrecorriente que si bien no alcanza valores elevados, como los de una corriente de cortocircuito, si ocasiona un incremento en la temperatura de operación, que puede llegar a afectar de manera importante los aislamientos del motor.

Aunque una corriente de sobrecarga puede tener efectos mecánicos o magnéticos, los cuales pueden ser considerados en el esquema de protección, generalmente los dispositivos de protección contra sobrecarga se emplean para prevenir una sobretemperatura en el motor.

La causa principal de una corriente de sobrecarga es una sobrecarga mecánica en la flecha del motor, originada en-

tre otros por cargas de alta inercia que retarden la aceleración o bien por fallas en los componentes mecánicos del motor o de la carga accionada, que pueden inclusive llegar a detenerlo.

Fluctuaciones en el voltaje y la frecuencia de la fuente de alimentación pueden provocar también que un motor tome mayor corriente que la nominal. Por ejemplo en un motor asíncrono, para una potencia constante de salida, al presentarse una disminución en el voltaje, el motor toma una corriente mayor para compensarla.

Una sobretemperatura puede también ser resultado de frecuentes arranques y paros, cuyo efecto se va acumulando hasta alcanzar valores de temperatura peligrosos para el motor. A esto podría agregarse falla en el sistema de ventilación y una alta temperatura del medio ambiente.

La protección contra sobrecarga puede ser provista por dispositivos que midan la corriente en las líneas que llegan al motor o por sensores de temperatura instalados en sus devanados que responden directamente a los cambios en la misma.

Los dispositivos de protección que responden a una corriente de sobrecarga pueden ser aparatos que interrumpan el circuito de alimentación del motor, como los fusibles de acción retardada (doble elemento) o bien formados por sensores en las líneas que detectan una sobrecarga y mandan una señal para activar alarmas o circuitos de contactores, a través de los cuales se efectúa la desconexión. Por ejemplo, relevadores térmicos o magnéticos.

Los relevadores térmicos responden al calentamiento producido por la corriente en sus unidades sensoras, bimetales o -

pastillas de aleación fusible. En tanto que los magnéticos responden al campo magnético producido por la corriente en su bobina de disparo.

Generalmente los relevadores de sobrecarga tienen características de operación de tiempo inverso. Actúan en un tiempo menor cuanto mayor sea la corriente de sobrecarga. Esta característica se puede observar en la figura 25.

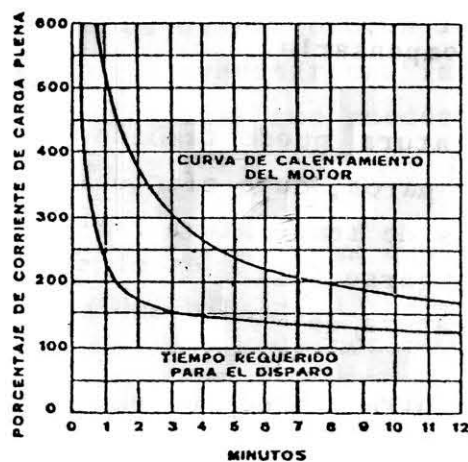


Fig. 25 En la figura se muestran curvas típicas del calentamiento de un motor y de un relevador de sobrecarga.

En la figura 26 se tiene un ejemplo de aplicación de un relé vador térmico, donde las unidades sensoras se conectan a través de transformadores de corriente. La apertura del contacto SC en serie con la bobina del contactor origina la desconexión del motor al presentarse una sobrecarga.

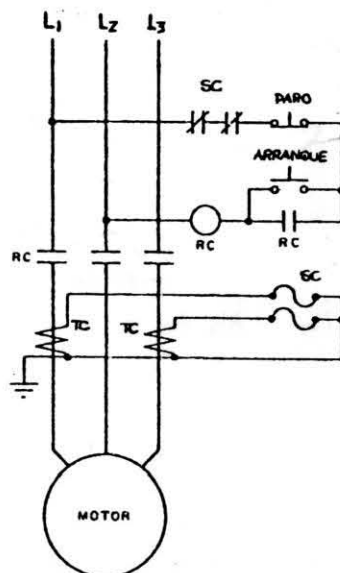


Fig. 26 Diagrama simplificado de un arrancador a voltaje pleno de un motor jaula de ardilla con protección térmica contra sobrecarga.

Con referencia al arrancador mostrado en la fig. 26 una práctica generalizada, es la de instalar unidades sensoras en solo dos de las líneas que llegan al motor. Sin embargo se -- pueden presentar condiciones como la mostrada en la fig. 27- en el cual un exceso de corriente fluye por una sola de las- líneas con la posibilidad de que sea la no protegida.

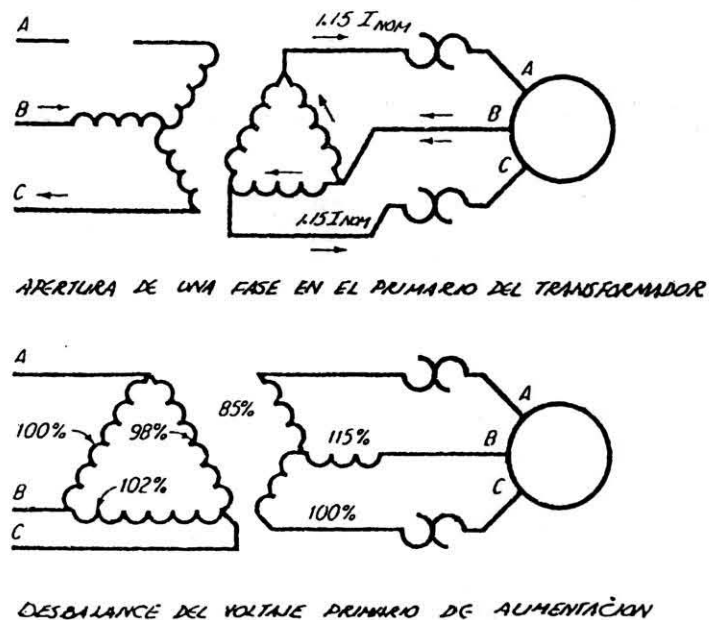


Fig. 27 Situaciones en que dos elementos de protección no son suficientes

Cuando los motores son alimentados de transformadores conectados en delta-estrella o estrella-delta con su neutro aislado, la apertura de un circuito en el primario puede causar un severo desbalance en la corriente en el secundario.

Una condición similar se puede presentar con las mismas conexiones de transformadores, si el voltaje en el primario está desbalanceado. Como se muestra en la figura, 2% de desbalance en el voltaje primario, puede causar un 15% de desbalance en la corriente del motor.

En muchas ocasiones los sistemas de distribución operan con desbalances mayores que el indicado.

De esta manera en el caso de motores trifásicos es recomendable el uso de una tercera unidad de sobrecarga para proteger en forma completa al motor.



En el caso de motores monofásicos o de corriente continua - basta utilizar una unidad, en cualquiera de los conductores activos.

Se recomienda que los dispositivos de protección contra sobrecargas para motores con un factor de servicio igual o mayor de 1.15 o bien con un aumento de temperatura que no exceda  $40^{\circ}\text{C}$ , deben tener un ajuste de 125% de la corriente nominal del motor. En todos los demás motores el ajuste será de 115%.

Para motores mayores de 1500 HP es necesario el empleo de detectores de temperatura, localizados en los devanados del motor. En manera directa midan la temperatura y actúen un esquema de relevadores para desconectarlo de la red al presentarse un calentamiento excesivo. En la figura 28, se muestra un diagrama donde la protección se logra mediante el empleo de termistores. Estos dispositivos tienen un coeficiente de temperatura positivo, tal que en condiciones normales de los devanados, su resistencia es baja y prácticamente constante, sobre un valor crítico. Sin embargo un pequeño incremento de temperatura origina un aumento en la resistencia, equivalente a la apertura de unos contactos.

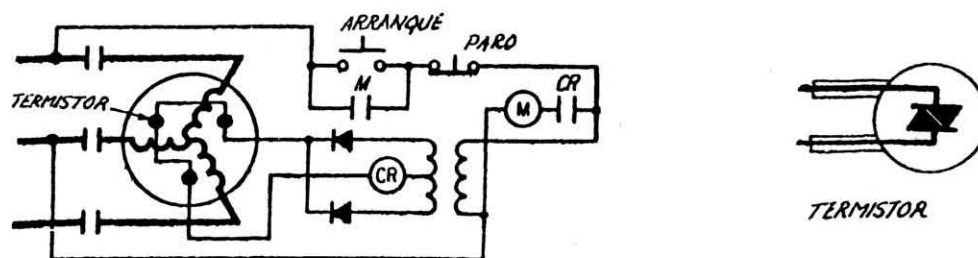


Fig. 28 Diagrama simplificado de un -  
arrancador en donde se inclu-  
yen termistores para proteger  
al motor por sobrettemperatura

En motores cuya operación no sea continua, como por ejemplo en accionamiento de válvulas, rodillos, máquinas para tratamiento de materiales, etc. Se consideran protegidos contra sobrecargas por el dispositivo de protección contra cortocircuito del circuito derivado en que se instalen.

#### PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITOS Y FALLAS A TIERRA

En toda instalación de motores se requiere de un aparato de interrupción que proteja al motor, conductores y equipo de control de las sobrecorrientes debidas a cortocircuitos y fallas a tierra.

A diferencia de la corriente normal y que depende básicamente de la carga accionada, la corriente de cortocircuito en un motor está determinada por la cantidad de corriente que el sistema puede entregar en el punto de falla. Esta corriente está sujeta a tres factores: (1) capacidad de las líneas que alimentan la falla; (2) la capacidad de la fuente de alimentación; (3) otros motores en la línea y que actúan momentánea como generadores y contribuyen a la falla.

Determinar la capacidad interruptiva requerida y prever un medio adecuado para manejar las corrientes de cortocircuito, es uno de los factores más importantes en la selección de un controlador.

Los contactores de los arrancadores están generalmente diseñados con una capacidad de interrupción de hasta 10 veces la corriente normal, lo cual les permite interrumpir corrientes de sobrecarga y a rotor bloqueado. Sin embargo para interrumpir corrientes de falla, que rebasan esta capacidad se requiere de otros medios, como fusibles é interruptores automáticos que deben ser capaces de soportar la corriente de arranque sin desconectar al motor.

Cada uno de estos aparatos presenta ciertas ventajas sobre el otro. Los fusibles tienen un costo inicial bajo. Sencillos y compactos se tienen disponibles en rangos mayores de interrupción que los interruptores. Por otro lado, los fusibles requieren ser reemplazados después de cada operación y la falla de uno de ellos puede originar una operación bifásica en el caso de motores trifásicos. Además la coordinación de fusibles con otros dispositivos de protección -- puede ser complicado.

La protección de circuitos derivados o ramales, en donde se tiene instalado un motor, se puede realizar de acuerdo a las tablas que se muestran a continuación.

En caso de que el ajuste previsto no corresponda a un valor normalizado de los dispositivos, se puede seleccionar el inmediato superior.

Para el alimentador de varios motores, la capacidad o ajuste no debe exceder la capacidad del mayor de los dispositivos de protección que se tenga en los circuitos derivados más la suma de las corrientes a plena carga de los demás motores del grupo. En el caso de que los motores de mayor capacidad sean dos o más de igual potencia, se considerará uno solo de los motores para el cálculo.

Tabla 3

Capacidad máxima de los dispositivos de protección en los circuitos derivados, para motores no marcados con letras de código, indicando los KVA con rotor bloqueado.

TIPO DE MOTOR	POR CIENTO DE LA CORRIENTE A PLENA CARGA			
	FUSIBLES		INTERRUPTORES	
	TIPO INSTANTANEO	DOBLE ELEMENTO (CON RETARDO)	TIPO INSTANTANEO	CON LIMITE DE TIEMPO
Todos los motores monofásicos, polifásicos, jaula de ardilla y síncronos, con arranque a tensión plena o a tensión reducida con resistencias o con reactancias.....	300	175	700	250
Todos los motores jaula de ardilla y síncronos con arranque con autotransformador:				
No más de 30 amperes.....	250	175	700	200
Más de 30 amperes.....	200	175	700	200
Motores Jaula de Ardilla de alta reactancia				
No más de 30 amperes.....	250	175	700	200
Más de 30 amperes.....	200	175	700	200
Motores de rotor devanado.....	150	150	700	150
Motores de corriente continua.				
No más de 50 HP.....	150	150	250	150
Más de 50 HP.....	150	150	175	150

*Tabla 4*  
Capacidad máxima de los dispositivos de protección en los circuitos derivados, para motores marcados con letras de código, indicando los KVA con rotor bloqueado.

TIPO DE MOTOR	POR CIENTO DE LA CORRIENTE A PLENA CARGA			
	FUSIBLES		INTERRUPTORES	
	TIPO INSTANTANEO	DE DOBLE ELEMENTO (CON RETARDO)	TIPO INSTANTANEO	CON LIMITE DE TIEMPO
<p>Todos los motores monofásicos, polifásicos, jaula de ardilla y síncronos, con arranque a -- tensión plena o a tensión reducida con resistencias o con -- reactancias:</p> <p>Letra de código A .....</p> <p>Letra de código B a E.....</p> <p>Letra de código F a V.....</p>	150	150	700	150
	250	175	700	200
	300	175	700	250
<p>Todos los motores jaula de ardilla y síncronos con arranque con autotransformador:</p> <p>Letra de código A.....</p> <p>Letra de código B a E.....</p> <p>Letra de código F a V.....</p>	150	150	700	150
	200	175	700	200
	250	175	700	200

## REFERENCIAS

1. Charles S. Siskind "Electrical Machines" Mc. Graw-Hill Book Company, New York, N.Y. 1959.
2. Charles S. Siskind. "Electrical Control Systems in Industry" Mc Graw-Hill Book Company, New York, N.Y. 1963.
3. P.B. Harwood "Control of Electric Motors" John Wiley & Sons Inc. New York, 1965.
4. Walter N. Alerich. "Electric Motor Control" Delmar P. Inc. New York, N.Y. 1965.
5. Robert W. Smeaton "Motor Application and Maintenance Hand book" Mc Graw-Hill Book Company, New York, N.Y. 1969.
6. M. Ketnezov. "Fundamentos de Electrotecnia" Mir, Moscú 1972.
7. S. Veshereoski "Características de los Motores en el Accionamiento Eléctrico" Mir, Moscú, 1972.
8. Gerhart W. Heumann, "Magnetic Control of Industrial Motors" John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y. 1961.
9. R.L. McIntyre. "Electric Motor Control Fundamentals" John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y. 1967.
10. G.L. Oscarson "A.B.C. of Application for Large A - C Motors & Control" E. M Synchronizer 200 - SYN - 47, Minneapolis, Minn. 1957.
11. G.L. Oscarson "A.B.C. of Large Motor and Control" E-M Synchronizer, 100 - SIN - 70, Minneapolis, Minn. 1971.
12. G.L. Oscarson "A.B.C. of Motor Starting" E - M Synchronizer 200 - SYN - 59, Minneapolis, Minn. 1961.
13. M. Canay. "Methods of Starting Synchronous Machines" 3392E-11.6 (1.68) Brown - Boveri & Co. Ltd. Baden, Switzerland, 1968.
14. NEMA. "Motors and Generators" National Electrical Manufacturers Association, New York, N.Y. 1976.
15. NEC. "National Electric Code" National Fire Protection Association Boston, Mass. 1975 y 1978.
16. SEPAFIN - DGN. "Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas" Parte 1. Instalaciones para el uso de Energía Eléctrica, México 1981.

## **II    APLICACIÓN DE CIRCUITOS DE CONTROL ESTÁTICO**





## 1. INTRODUCCIÓN

De los circuitos de control eléctricos, los circuitos de conmutación son de los más utilizados en el control de las operaciones y procesos industriales. Están diseñados para responder a señales numéricas o dígitas, como pulsos de definición precisa y duración limitada, a diferencia de los controles analógicos - cuyas señales son funciones continuas de la variable tiempo  $t$ . El nombre de conmutación les viene dando porque sus componentes "abren" o "cierran" circuitos, como es el caso de los relevadores magnéticos que abren y cierran sus contactos cuando su bobina es excitada, o los semiconductores que conducen o no conducen dependiendo de la polaridad de la tensión que se aplica entre sus terminales.

El relevador magnético que se ha mencionado ha sido durante mucho tiempo uno de los componentes fundamentales de los circuitos de conmutación, basando en este dispositivo electromecánico una gran parte de sus operaciones. Sin embargo los avances en la electrónica han traído como consecuencia que los controles convencionales estén siendo reemplazados por controles estáticos, contruidos con dispositivos del estado sólido (diodos, transistores, circuitos integrados, etc.) que se caracterizan entre otras por la ausencia de partes móviles, además de su mayor sensibilidad y velocidad de operación, menor espacio y una larga vida con prácticamente nulo mantenimiento.

Los circuitos de conmutación ya sea se implementen con relevadores dispositivos del estado sólido o cualquier otra tecnología, pueden proyectarse de manera intuitiva. Esta es, ir agregando o quitando elementos hasta encontrar el circuito que realice la -

función de control buscada. Sin embargo conforme aumenta la complejidad de los sistemas, el diseño se vuelve más difícil. Además el diseño no solo consiste en encontrar el circuito que realice una función deseada, sino que se trata de que lleve el menor número de elementos, lo que va a redundar en una mayor economía. Afortunadamente se han desarrollado técnicas para el diseño de los circuitos de conmutación, las cuales no solo conducen a circuitos más simples sino que pueden reducir considerablemente el tiempo para encontrar una solución.

## 2. ALGEBRA BOOLEANA.

Los circuitos de conmutación siguen las reglas del álgebra booleana. Esta parte de las matemáticas modernas que se dice es una abstracción de la teoría de los conjuntos, permite establecer un nexo entre ésta y la lógica formal y como los circuitos de conmutación realizan funciones lógicas, constituyen una herramienta poderosa para su proyecto y simplificación.

El algebra booleana llamada también lógica cuando se aplica al diseño de los circuitos que se tratan, maneja variables binarias que solo pueden tomar dos estados o valores opuestos, descritos usualmente como cierto o falso. Estos estados llegan a identificarse como alto y bajo refiriéndose a la presencia o polaridad de pulsos, o bien como cerrado y abierto cuando se tienen contactos. Estas variables se representan con las letras del alfabeto. Por ejemplo, la letra  $A$  puede representar una variable lógica que tiene un solo valor, esto es, no puede ser simultáneamente cierta o falsa. La inversa o complemento de  $A$ , que puede representarse como  $\bar{A}$  indica el valor opuesto de la

variable. Así A es falsa  $\bar{A}$  es cierta y viceversa. A menudo se emplea un "1" (lógico) para indicar que una variable es cierta y un "0" (lógico) para indicar el caso contrario. En la Tabla 1 se muestra un resumen de la forma de notación que se emplea en el algebra de booleana.

Tabla 1. Notación del Algebra Booleana

NOTACION	DESCRIPCION
$\cdot, \cap, \wedge, X$	Y
$+, U, \vee$	O
$\bar{A}, \sim A, A-, A'$	A negada
$\oplus$	O exclusiva
$\ominus$	NO-O exclusiva
$1, A$	NO-Y
$\downarrow, \forall$	NO-O
$A \cdot B$	A y B
$A + B$	A + B
$A \oplus B$	A exclusiva - o B
1	Elemento verdadero
0	Elemento falso
=	Equivalencia
$A = B$	A igual a B, condicionalmente
$A \equiv B$	A es identica a B
$A \supset B$	A incluye a B
$A \rightarrow B$	A implica B
$A \subset B$	A pertenece a B
$A \cup B$	A unión B
$A \cap B$	A intersección B

## POSTULADOS Y AXIOMAS.

La operación de las funciones lógicas se podría resumir en los postulados del algebra booleana que se muestran en la Tabla siguiente. Estos postulados son muy importantes, pues a partir de ellos se pueden establecer axiomas y teoremas que son de gran ayuda en el manejo y simplificación de las expresiones lógicas, que se emplean para representar los circuitos de conmutación.

Tabla 2. Postulados del Algebra Booleana

A = 1	o bien	A = 0
$1 \cdot 1 = 1$ $1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0$ $0 \cdot 0 = 0$		$0 + 0 = 0$ $0 + 1 = 1 + 0 = 1$ $1 + 1 = 1$
$\overline{1} = 0$		$\overline{0} = 1$

### 3. OPERACIONES LÓGICAS

Existen tres operaciones básicas empleadas en el algebra lógica: Y, O y NO. Las cuales se combinan para dar otras operaciones entre las cuales de particular interés son: NO-Y ó NY y NO-O. Las operaciones descritas pueden realizarse por dispositivos físicos llamados compuertas o funciones, por la relación funcional que se establece entre su entrada y su salida. A partir de estas funciones más otra no lógica de retardo de tiempo se puede elaborar cualquier circuito de conmutación por complicado que éste sea.

Tabla 3 Axiomas del Algebra Booleana

Operaciones con 0 y 1	
$0.A = 0$	$1 + A = 1$
$1.A = A$	$0 + A = A$
Axiomas de Tautología	
$A.A = A$	$A + A = A$
Axiomas de Complementación	
$A.\bar{A} = 0$	$A + \bar{A} = 1$
$\bar{\bar{A}} = A$	
Axiomas de Absorción	
$A.(A+B) = A$	$A + A.B = A$
Axiomas de Conmutación	
$A.B = B.A$	$A + B = B + A$
Axiomas de Asociación	
$A.(B.C) = (A.B).C$	
$A + (B + C) = (A + B) + C$	
Axiomas de Distribución	
$A.(B + C) = A.B + A.C$	
$A + B.C = (A + B).(A + C)$	
Axiomas de MORGAN	
$\overline{A.B} = \bar{A} + \bar{B}$	$\overline{A+B} = \bar{A}.\bar{B}$

### LÓGICA POSITIVA Y LÓGICA NEGATIVA.

Los circuitos con relevadores con que se implementan las funciones, trabajan con señal de tensión o sinella, que constituyen el "1" y el "0" lógicos respectivamente. Sin embargo en la implementación estática el "0" no necesariamente corresponde a un nivel de tensión cero, sino que puede tener otro valor. Por ejemplo, en un circuito el "1" podría corresponder a una tensión de +12V y el "0" a una tensión de -12V. Ahora bien como los cir

cuitos estáticos pueden funcionar con fuentes de tensión positivas o negativas, es necesario definir si el circuito de lógica será positivo o negativo. De esta manera si en el ejemplo anterior la designación del "1" y del "0" es la mencionada, se dice que trabaja con lógica positiva; en el caso contrario, si el "1" y el "0" corresponden a  $-12V$  y a  $+12V$  respectivamente, se dice que el circuito trabaja con lógica negativa. Hay que aclarar -- que cuando se trabaja con lógica positiva o negativa no es forzoso que el "1" corresponda a tensiones absolutamente positivas o negativas. Considérese otro circuito, el cual va a trabajar con  $-12V$  y  $-24V$ , en lógica positiva  $-12V$  corresponderá al "1" y  $-24V$  al "0", ya que el primer valor de tensión es más positivo que el segundo. En lógica negativa sería el caso contrario. Con esto se quiere indicar que la lógica con que trabajan las funciones, se refiere a los niveles relativos que guardan las dos tensiones de operación. Figura 1.

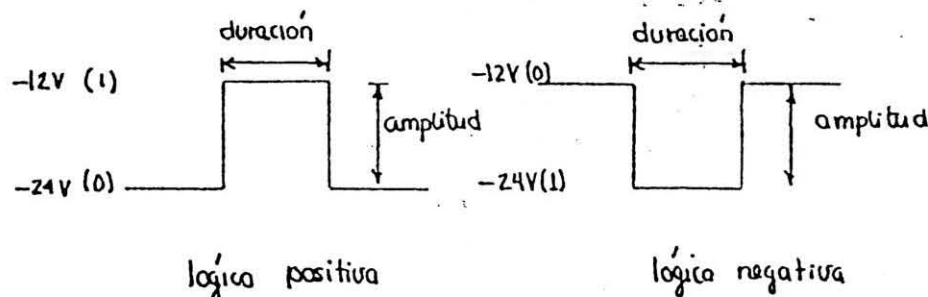


Fig. 1 Definición de pulsos.

## FUNCIÓN LÓGICA Y

Esta función se caracteriza porque todas sus entradas deben estar presentes para tener señal de salida. Esto es, todas las señales de entrada deben tener valor "1" para que a su salida se -

recoja un "1". La falla de cualquiera de sus entradas hará que la salida sea "0". En la figura siguiente se puede observar su representación, la relación funcional y su tabla de verdad que es una herramienta sencilla y conveniente para analizar su funcionamiento.



Fig. 2 Función lógica Y

La función Y se puede representar con otra simbología, diferente de la empleada en la figura anterior. Algunos de los símbolos más comunes se muestran en la figura 3. En todos ellos se han considerado dos entradas, pero su número puede ser mayor.

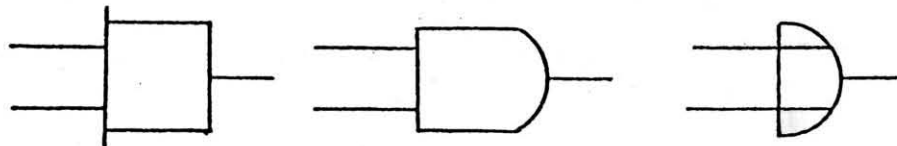


Fig. 3 Simbología de la función Y

La función Y al igual que todas las funciones mencionadas, se puede implementar con diferentes tecnologías. En particular para los circuitos de conmutación eléctricos, se va a describir la implementación con relevadores magnéticos y con dispositivos del estado sólido.

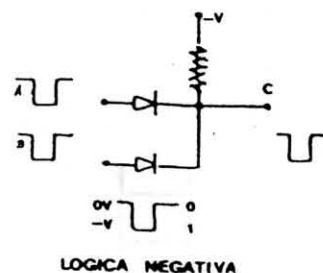
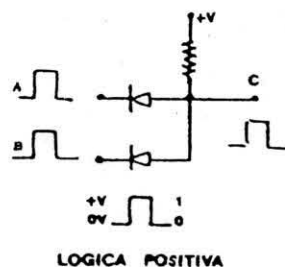
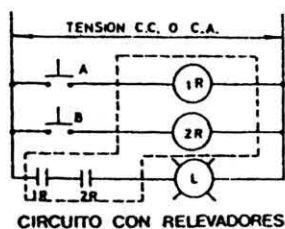
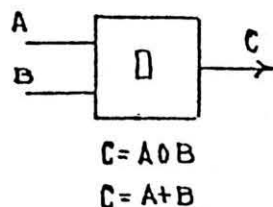


Fig. 4 Implementación de la función Y.

## FUNCIÓN LÓGICA O

En la figura siguiente se puede observar que para que exista señal de salida, al menos una de sus entradas debe de estar presente. Esto es, cuando al menos una de sus variables de excitación es igual a "1", a la salida se tendrá un "1". En la figura 6 se muestra su diferente simbología y en la figura 7 su implementación con relevadores y semiconductores.



A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

tabla lógica de verdad.

Fig. 5 Función lógica O.



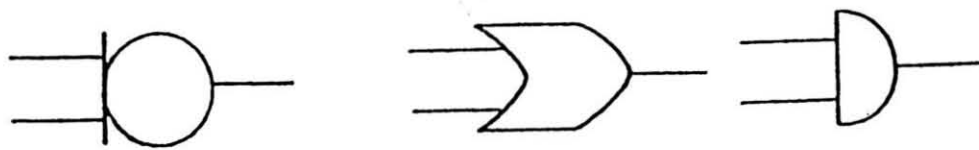


Fig. 6 Simbología de la función 0.

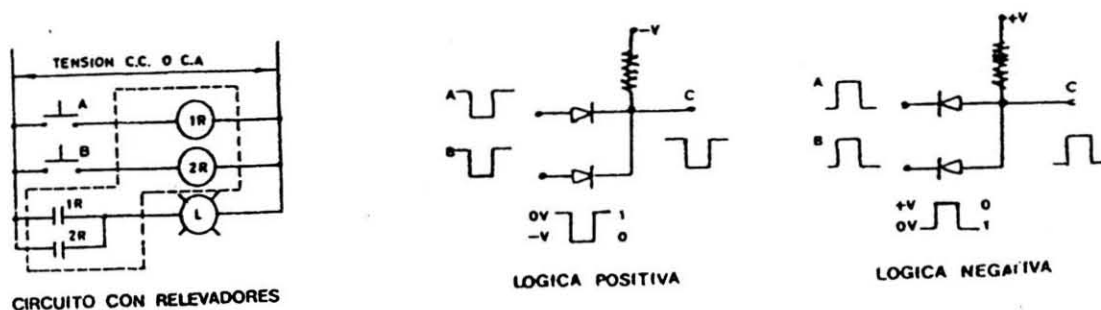


Fig. 7 Implementación de la función 0.

## FUNCIÓN LÓGICA NO

Esta función se caracteriza porque habrá señal de salida solamente cuando no hay señal de entrada. La función es igual a "1" -- cuando su entrada es cero y viceversa. Su operación, descripción, simbología e implementación se puede observar en las siguientes figuras.



Fig. 8 Función lógica NO.

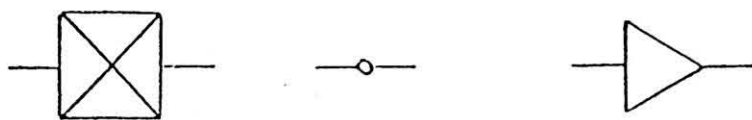


Fig. 9 Simbología de la función NO.

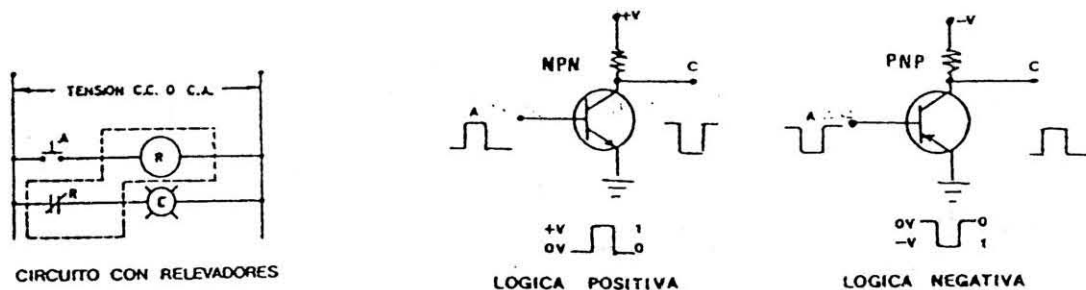
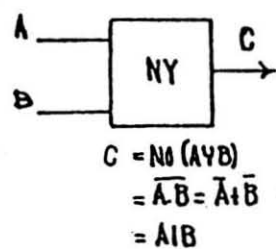


Fig. 10 Implementación de la función NO.

#### FUNCION LÓGICA NO-Y

La función lógica NO-Y ó NY no es más que una Y negada. Para tener una señal a su salida, necesita que al menos en una de --

sus entradas no haya señal. Se tiene un "1" a la salida si al menos una de sus entradas es cero.



A	B	C
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabla lógica de verdad.

Fig. 11 Función lógica NY.

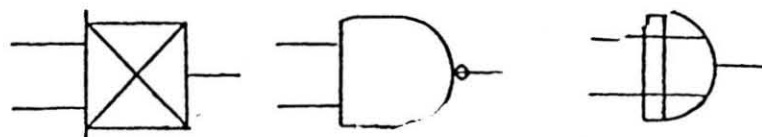
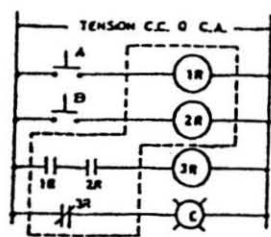
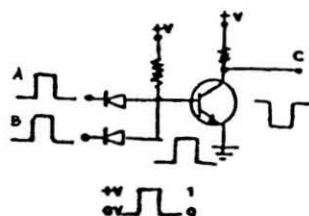


Fig. 12 Simbología de la función NY.



CIRCUITO CON RELEVADORES



LOGICA POSITIVA

Fig. 13 Implementación de la función NY.

## Función Lógica NOO.

Esta función es una 0 negada que requiere que todas las señales a la entrada sean nulas para tener salida. De esta manera para tener un "1" a la salida todas las entradas deben ser "0", figura 14.

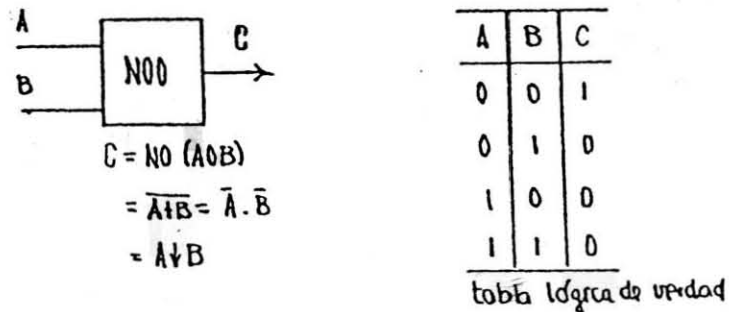


Fig. 14 Función lógica NOO

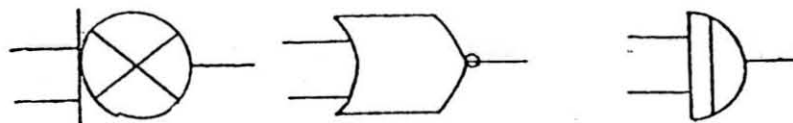


Fig. 15 Simbología de la función NOO

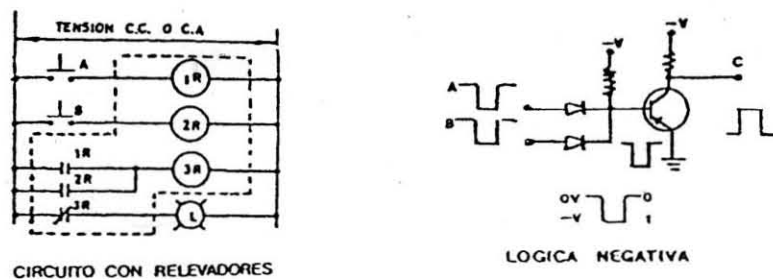


Fig. 16 Implementación de la función NOO.

## FUNCIÓN LÓGICA O EXCLUSIVA.

La función O exclusiva es un tipo especial de la función O. Esta función no tendrá señal a la salida si en su entrada ninguna o - todas las señales están presentes. A continuación se presenta - su símbolo y su tabla lógica de verdad.

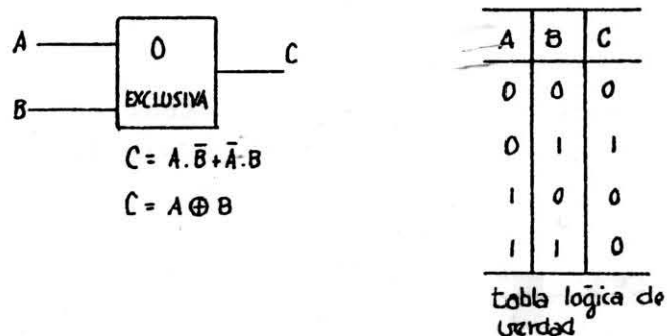


Fig. 17 Función Lógica O Exclusiva.

## FUNCIÓN LÓGICA NO- O EXCLUSIVA.

Esta función opera de la misma manera que la anterior, excepto - que se invierte la salida final. Es decir, cuando se tengan to- das la entradas o no se tenga ninguna, se tendrá señal a la sali- da.

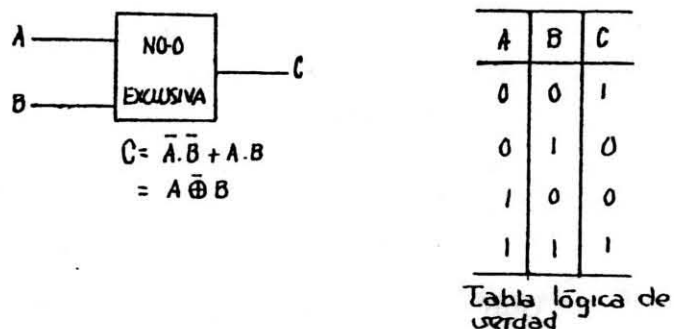


Fig. 18 Función lógica NO-O exclusiva.

## MEMORIA.

En la figura 19 se encuentra representada la función memoria, la cual puede ser de dos tipos: de Retorno y Retentiva. Ambas funcionan de la siguiente manera. Si existe una señal momentánea - en A, la memoria proporcionará una salida. Esta salida continuará (será recordada) una vez que se haya suprimido A. Una entrada posterior B, suprimirá la salida. Los términos de Retorno y Retentiva, se refieren al siguiente hecho: En caso de fallar la energía eléctrica, la unidad de memoria Retentiva, recordará su último estado de salida (conectada o desconectada), no sucediendo lo mismo con la memoria NO Retentiva, la cual siempre pasa a la condición de "desconectada" en caso del fallo mencionado.

Estos conceptos se aclararán mejor, si se analizan los circuitos análogos que se muestran en las figuras.

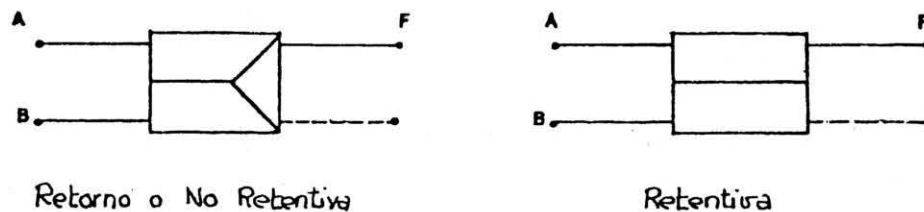


Fig. 19 Símbolo de la Memoria.

En la figura 20, se puede observar que si por algún motivo falla la tensión de alimentación, el circuito regresará a su condición inicial, desconectado. De ahí el nombre de memoria NO RETENTIVA.

La memoria RETENTIVA, puede implementarse simplemente con un interruptor manual de palanca, el cual mecánicamente recuerda el estado al cual se le ha llevado. En la figura 21 se ilustra su implementación con relevadores magnéticos. El funcionamiento --

del circuito es el siguiente: pulsando el botón A, se energiza la bobina R-L, cerrando el contacto  $R_1$ , en serie con la lámpara 1L y abriendo el contacto  $R_2$  en serie con la lámpara 2L. Para que los contactos regresen a su posición original, es necesario que se pulse el botón B, que permite energizar a la bobina R-UL la cual elimina el enclavamiento de R-L. En el caso de falla en la alimentación, este arreglo conserva su estado anterior a la falla, ésto es, los contactos permanecen en la posición antes establecida.

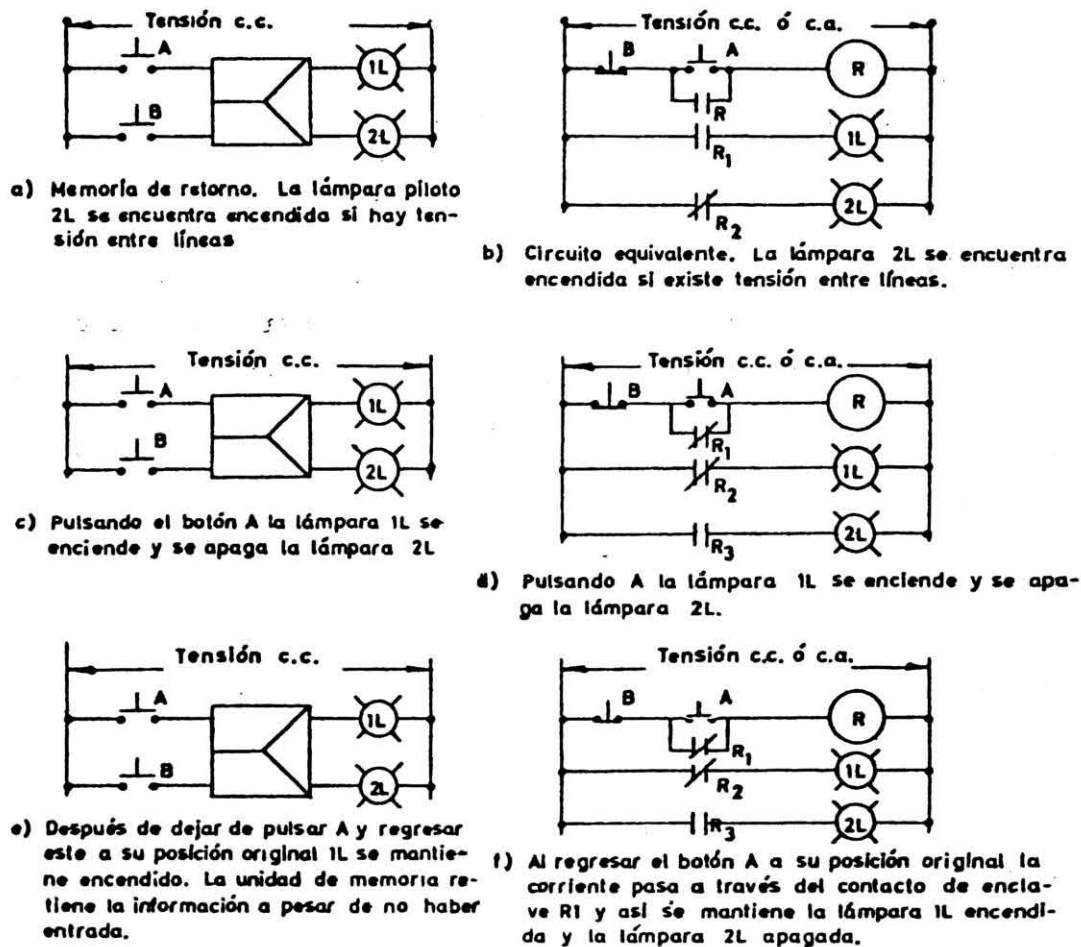


Fig. 20 Memoria no Retentiva y su circuito equivalente con relevadores.

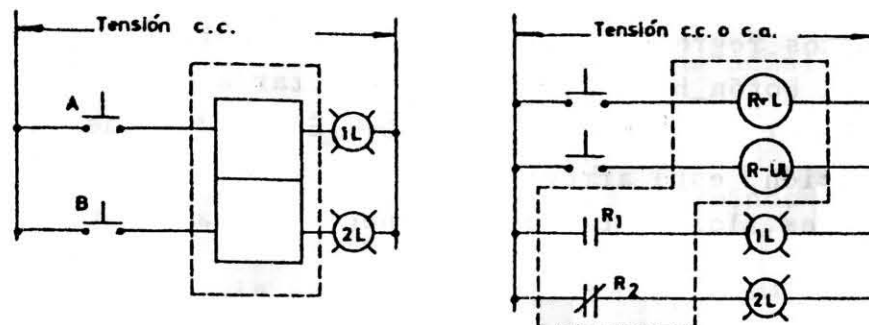


Fig. 21 Memoria Retentiva y su circuito equivalente con relevadores.

#### RETARDO DE TIEMPO.

Los símbolos elementales de los temporizadores o unidades de retardo de tiempo, se muestran en la figura 22. Estos van a proporcionar dos operaciones básicas: retardo de tiempo al energizar y retardo de tiempo al desenergizar. En el primer caso el elemento proporciona una señal de salida un tiempo después de que se ha aplicado la señal de entrada. En el segundo caso el elemento retiene la señal de salida cierto tiempo, aunque la señal de entrada haya sido eliminada.

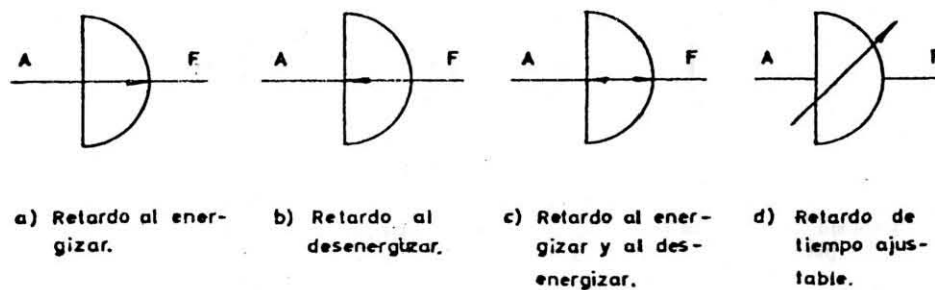


Fig. 22 Simbología de los temporizadores.



En las figuras 23 y 24 se describen las operaciones anteriores por medio de circuitos con relevadores.

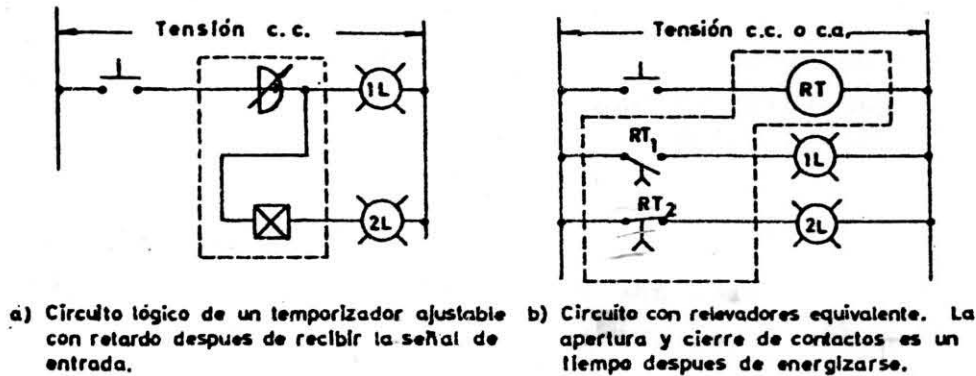


Fig. 23 Temporizador con tiempo ajustable después de recibir la señal.

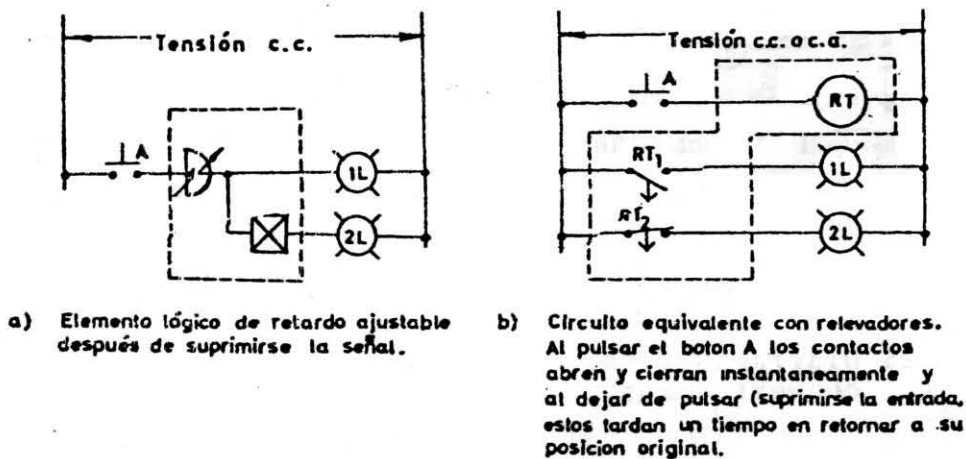


Fig. 24 Temporizador con retardo ajustable después de suprimirse la señal de entrada.

## CONVERTIDORES Y AMPLIFICADORES.

Algunas de las funciones que se han visto se han implementado - con circuitos elementales de diodos y transistores, sin embargo

la tendencia es hacia el empleo de circuitos integrados, que -- ofrecen una gran cantidad de posibilidades. En todos los casos estos dispositivos electrónicos trabajan con tensiones de co -- rriente continua reducidas, consumiendo potencias no mayores de 20 watts, es necesario el empleo de convertidores de señales pa -- ra transformar y/o reducir las tensiones con que operan los di -- positivos de mando, figura 25. Por otro lado, siendo la salida de elementos de muy baja potencia, se requieren amplificadores para elevarlos a niveles adecuados de utilización. Los amplifi -- cadores pueden ser de diferentes tipos: magnéticos, electróni -- cos, etc., empleando la simbología mostrada en la figura 26.

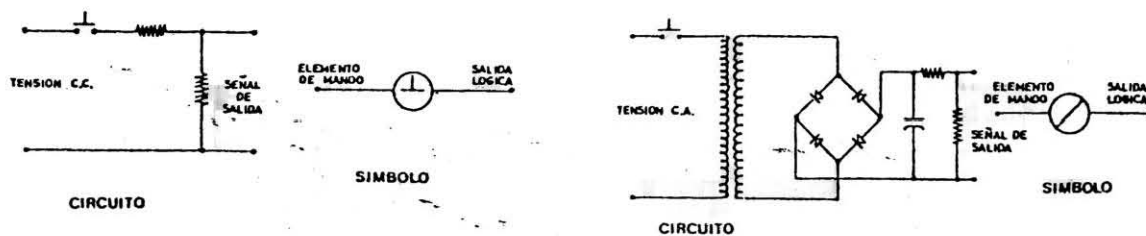


Fig. 25 Diagramas elementales y Simbología de convertidores.



$G$ : Ganancia

Fig. 26 Simbología de amplificadores.

#### 4. APLICACIÓN DE LOS CIRCUITOS LÓGICOS.

##### EJEMPLO 1.

Supóngase el sistema de bombeo mostrado en la figura siguiente, formado por dos depósitos de agua (cisterna y tinaco) con un conjunto de detectores de nivel que al ser cubiertos por el líquido, se comportan como contactos cerrados a través de los cuales se pueden conectar otros elementos de control. Una bomba accionada por un motor eléctrico, es la encargada de elevar el líquido del tanque bajo, al tanque alto. La conexión del motor de la bomba a la red, se hace a través de un contactor magnético, el cual va a operar con las siguientes condiciones:

- a) El motor de la bomba debe trabajar cuando el agua en el tanque bajo, llegue al nivel  $N_1$  y debe parar cuando baje del nivel  $N_2$ .
- b) El motor de la bomba debe trabajar cuando el agua en el tanque alto, baje del nivel  $N_4$  y debe parar cuando el líquido llegue al nivel  $N_3$ .

Como se observa en la figura 27, se tienen dos secuencias independientes.

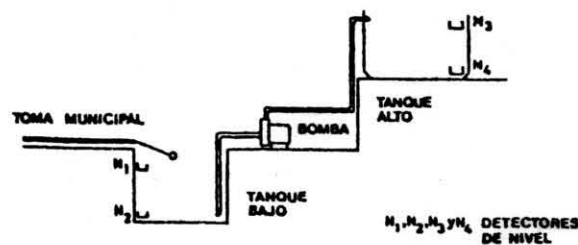


Fig. 27 Sistema de bombeo con protección en tanque alto y en tanque bajo.

La primera dice que la bomba debe operar cuando el nivel llegue a  $N_1$ . Esto implica que el tanque se ha llenado y el detector  $N_2$  se ha cubierto, por lo tanto para que la bomba opere, se debe tener señal  $N_1$  y en  $N_2$ . Aparentemente esta parte del circuito se resolvería empleando una función "Y", ya que teniendo cubierto  $N_1$  "Y"  $N_2$  la bomba se arranca. Sin embargo, se menciona que la bomba, una vez que está operando, debe seguir en este estado, hasta que el agua baje del nivel  $N_2$ , aún cuando  $N_1$  haya quedado descubierto. Como se ve, la solución propuesta no es la adecuada porque si se empleara una función "Y" en el instante en que el nivel bajara de  $N_1$ , la bomba se pararía, lo cual contradice la secuencia planteada.

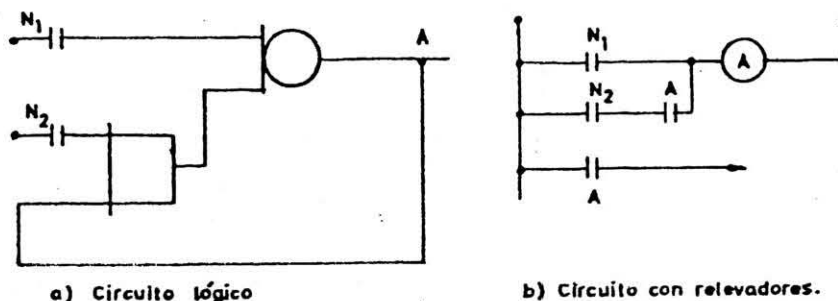


Fig. 28 En la figura se ilustra la primera condición de operación del ejemplo 1.

La figura 28, muestra una posible solución de la secuencia planteada.

Como se observa en el circuito lógico, la señal A que manda la conexión del motor de la bomba, se tiene a la salida de una función "O".

La función "O", tiene dos entradas, una que viene de  $N_1$  y otra de una función "Y", la cual para tener señal a su salida necesita que  $N_2$  se cubra con el agua y que la bomba esté operando, pues la otra entrada de la función "Y", es una retroalimentación de la salida. Así cuando el nivel del agua cubre a  $N_2$ , a la salida de la función "Y" no hay señal y como  $N_1$  todavía no

está cubierto, la bomba no trabaja. Al llegar el nivel a  $N_1$  a la salida de la función "O", ya se tiene señal, conectándose el motor a la red.

A la salida de la función "Y", aparece señal, ya que  $N_2$  está cubierto por el agua y se tiene señal de retroalimentación. Cuando el nivel del agua comienza a bajar y se descubre el electrodo  $N_1$ , el sistema sigue operando porque a la función "O" sigue llegando la señal de la función "Y", la cual se interrumpe cuando el nivel baja de  $N_2$ , parando todo el sistema.

La figura muestra también el circuito con relevadores equivalentes, en donde la señal de retroalimentación es un contacto normalmente abierto de A, en serie con  $N_2$  que permite el sistema "recuerde" la señal de entrada.

De manera similar que para la condición (a), para la condición (b), se puede elaborar un circuito lógico, como el mostrado en la figura 29; el cual al combinarse con el anterior forman el circuito completo que se muestra en la figura 30 con su equivalente con relevadores.

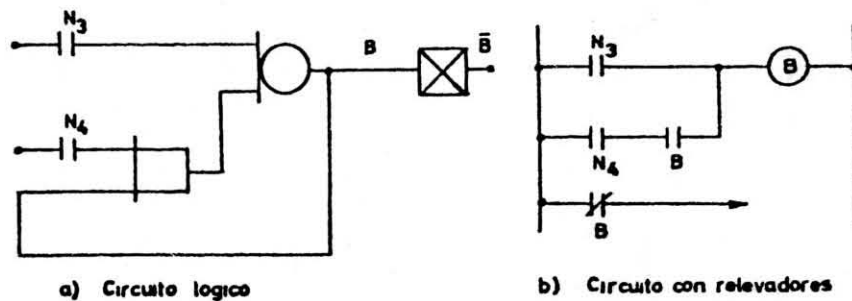


Fig. 29 En la figura se ilustra la segunda condición de operación del problema del ejemplo 1.

Como puede observarse en la figura 30, la bobina del contactor M, que conecta el motor de la bomba, se instala a la salida de una función "Y", a la cual llegan la señal A y la señal B, esta última negada. Este arreglo en el circuito con relevadores, está implementado por los contactos A (normalmente

abierto) y B (normalmente cerrado) en serie con la bobina del -  
 contactor M. Para que el motor de la bomba opere, se debe te-  
 ner señal A, "1" lógico y no tener en B, "0" lógico, la cual al  
 negarse antes de entrar a la función "Y" cambia su estado a "1"  
 lógico. Esto permite que a la salida de esta función se tenga  
 la señal que excita la bobina del contactor. De esta manera, -  
 cuando el nivel en los detectores  $N_1$  y  $N_2$ , sea tal que la sali-  
 da A este presente, la bomba trabaja, elevando el líquido al --  
 tanque alto, que empieza a llenarse. Al cubrirse el detector -  
 $N_4$ , no se tiene señal de tensión B, puesto que se requiere se-  
 ñal en la retroalimentación que junto con  $N_4$  entra en una fun-  
 ción "Y"

Cuando el nivel llegue a  $N_3$ , aparece una señal de tensión B, --  
 que al negarse cancela la tensión a la entrada de la función "Y"  
 que excita a la bobina del contactor M, deteniendo la bomba.

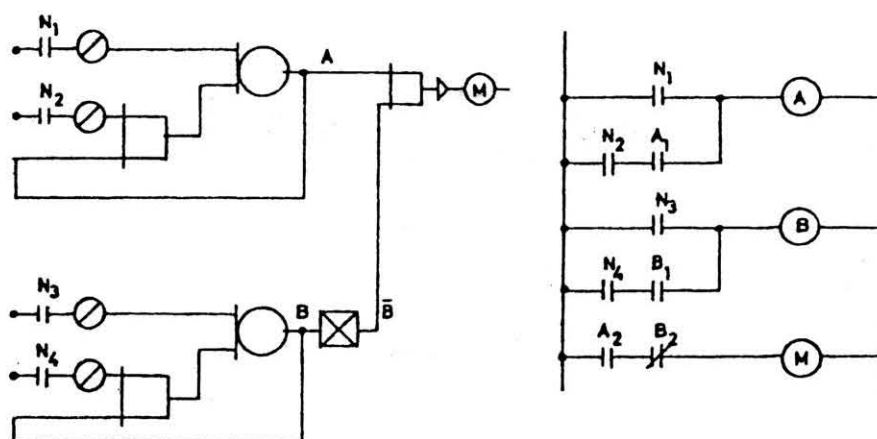


Fig. 30 Circuito lógico y su equivalente con relevadores para el problema del ejemplo 1.

En el circuito mostrado en la figura anterior, las retroalimen-  
 taciones de señal que permiten que las unidades "recuerden", su-  
 gieren que las unidades del circuito se combinen formando unida

des de memoria.

En la figura 31, se muestra un circuito con unidades de memoria que satisface los requerimientos planteados.

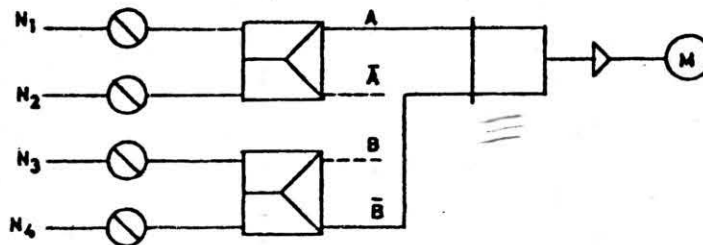


Fig. 31 Circuito con unidades de memoria para el problema del ejemplo No. 1.

El símbolo con que cada uno de los detectores de nivel va conectado a las unidades lógicas, representa un convertidor de señal, y a la salida del circuito se tiene un amplificador, que permite tener un nivel adecuado de potencia para excitar a la bobina del contactor M. El circuito lógico en lugar de emplear los relevadores A y B, emplea un conjunto de unidades estáticas para realizar las mismas funciones que éstos, con las ventajas ya mencionadas.

## EJEMPLO 2.

Se tiene una máquina herramienta accionada por dos motores eléctricos. El primero de ellos se conecta a la red a través del contactor 1M, y el segundo a través del contactor 2M con las siguientes condiciones de operación.

- a) Pulsando un botón o cerrando un interruptor de límite, el contactor 1M, se va a excitar, permaneciendo en este estado aún cuando la señal en el botón y el pulsador haya desaparecido.

- b) Una vez que se ha excitado el contactor 1M, el contactor 2M se excita, pero un tiempo después que el primero, manteniéndose en operación hasta que se desconecte 1M ó -- bien que se accionen un interruptor de límite o un interruptor de flotador.
- c) Pulsando otro botón, se desconecta todo el sistema, lo - cual ocurre también en el caso de que se presente una sobrecarga en cualquiera de los dos motores.

De las condiciones planteadas para que el 1M se excite, se debe pulsar un botón (1P) o cerrarse un interruptor de límite (1IL), además los contactos de los relevadores de sobrecarga de los motores deben estar cerrados de la misma manera que el botón de - paro (2P), si cualquiera de estos últimos se abriera, el contactor se desconectaría. La figura 32, muestra un circuito lógico y su equivalente con relevadores que satisfacen las condiciones del problema.

El primero con una unidad de memoria y el segundo con un contacto de enclave, para mantener la bobina excitada, aún cuando la señal del pulsador 1P ó del interruptor de límite 1IL haya desaparecido. Como se observa en el circuito lógico de la figura, - para tener la señal R, o se pulsa 1P ó bien se cierra 1IL, manteniéndose la señal hasta que se pulse 2P, ó se abran 1SC ó 2SC.

Para la conexión del contactor 2M, se necesita que 1M, esté ya excitado y que un interruptor de límite (2IL) y un interruptor de flotador se mantengan cerrados. Además la conexión se hará un tiempo después que 1M se ha desconectado. La figura 33, - - muestra un circuito lógico y su equivalente con relevadores pa- ra la conexión del contactor 2M.



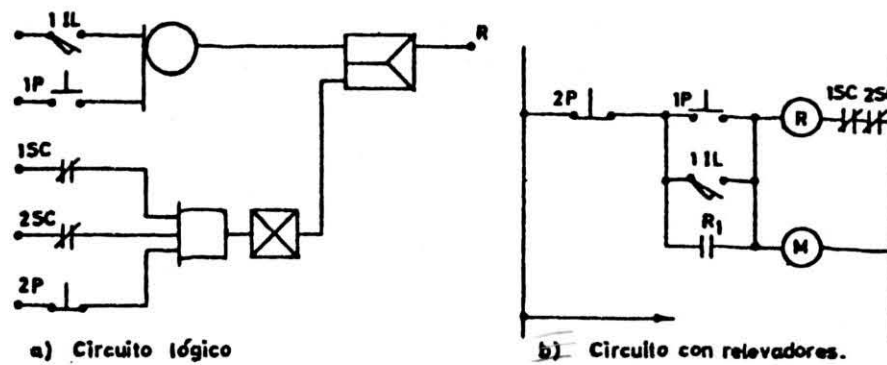


Fig. 32 La figura muestra la primera parte de la secuencia del problema del ejemplo 2. En el circuito lógico se han omitido los convertidores y amplificadores para simplificar el esquema.

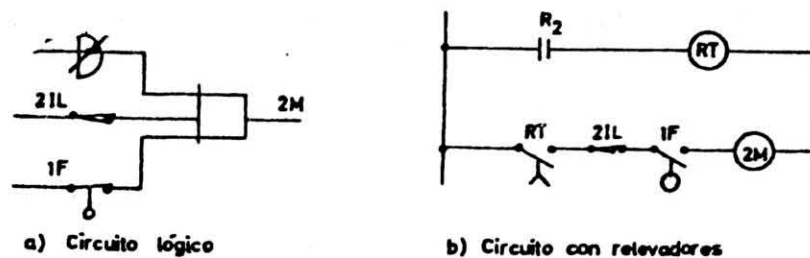


Fig. 33 Circuito para conexión del contactor 2M.

En la figura 33 , se muestra el circuito para conexión del contactor 2M, Nótese la presencia de temporizadores para satisfacer los requerimientos de la operación.

Los circuitos de las figuras 32 y 33 se combinan para formar el circuito completo mostrado en la figura 34. En este circuito se han sustituido las funciones "Y" a la cual entran las señales 1SC, 2SC y 2P y la función "NO" que el sigue por una función "NO-Y" combinación de las anteriores.

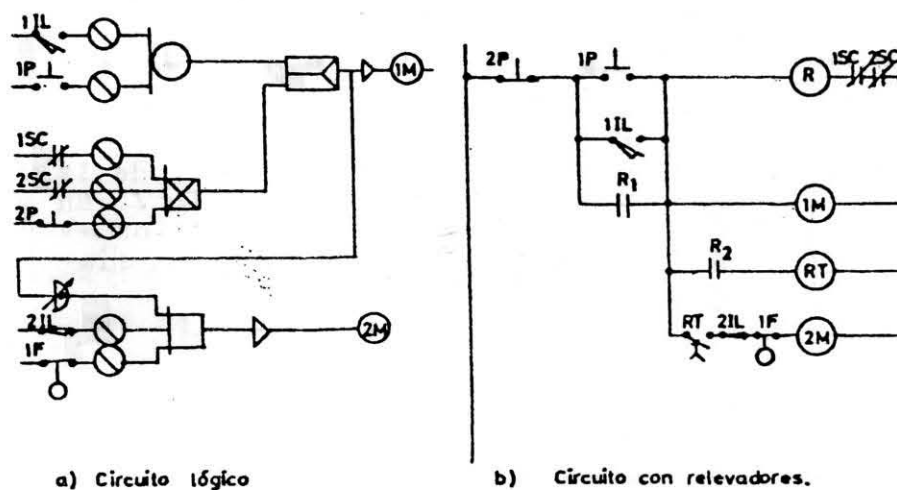
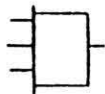
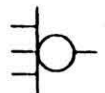
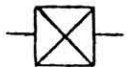
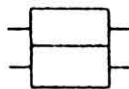
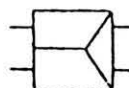
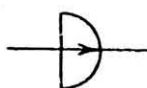
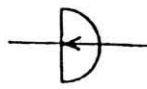
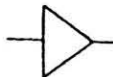



Fig. 34 Circuito lógico y su equivalente con relevadores del ejemplo No. 2. Obsérvese los convertidores y los amplificadores en el circuito lógico.

## RESUMEN DE FUNCIONES LOGICAS

FUNCIONES LOGICAS	SIMBOLO NEMA	DEFINICION
1. Y		UN DISPOSITIVO QUE PRODUCE UNA SALIDA SI TODAS LAS ENTRADAS ESTAN PRESENTES.
2. O		UN DISPOSITIVO QUE PRODUCE UNA SALIDA, CUANDO UNA ENTRADA (O MAS) ESTAN PRESENTES.
3. NO		UN DISPOSITIVO QUE PRODUCE UNA SALIDA CUANDO LA ENTRADA ESTA AUSENTE.
4. MEMORIA RETENTIVA		UN DISPOSITIVO QUE RETIENE LA CONDICION DE SALIDA CORRESPONDIENTE A LA ULTIMA ENTRADA PRESENTE.
5. MEMORIA NO RETENTIVA		UN DISPOSITIVO QUE RETIENE LA CONDICION DE SALIDA CORRESPONDIENTE A LA ULTIMA ENTRADA PRESENTE, EXCEPTO EN UNA INTERRUPCION DE LA FUENTE DE ALIMENTACION EN CUYO CASO RETORNA A LA CONDICION DESEXCITADA.
6. RETARDO AL EXCITAR		UN DISPOSITIVO QUE PRODUCE UNA SALIDA UN TIEMPO DESPUES DE QUE LA ENTRADA ES APLICADA.
7. RETARDO AL DESEXCITAR		UN DISPOSITIVO CUYA SALIDA ES REMOVIDA UN TIEMPO DESPUES DE QUE LA ENTRADA ES REMOVIDA.
8. AMPLIFICADOR		UN DISPOSITIVO EN DONDE UNA SEÑAL DE CONTROL APLICADA A LA ENTRADA ES AMPLIFICADA A VALORES APROPIADOS.
9. CONVERTIDOR DE SEÑAL		UN DISPOSITIVO QUE CAMBIA UNA SEÑAL PILOTO EN SEÑAL LOGICA.



### REFERENCIAS

1. H. Buitrón "Operación Control y Protección de Motores Eléctricos", 3a. Edición. HP Editor, México, 1984.
2. C. Siskind "Electrical Control Systems in Industry" ;  
Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1963.
3. G. Ertell "Control Numérico" Limusa-Wiley, S.A.  
México, 1972.
4. J. Lenk "Manual de Circuitos de Lógica", Editorial  
Diana, México, 1972.
5. R. L. Mc Intyre "Electric Motor Control Fundamentals",  
Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1967.

## **Introducción al control de motores eléctricos**

Se terminó La edición estuvo  
de imprimir a cargo  
en el mes de abril de la Sección  
del año 2000 de Producción  
en los talleres y Distribución Editoriales  
de la Sección  
de Impresión Se imprimieron  
y Reproducción de la 100 ejemplares  
Universidad Autónoma Metropolitana, más sobrantes  
Unidad Azcapotzalco para reposición.

*El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha  
señalada en el sello mas reciente*

Código de barras. 2893964

FECHA DE DEVOLUCION

[illegible]

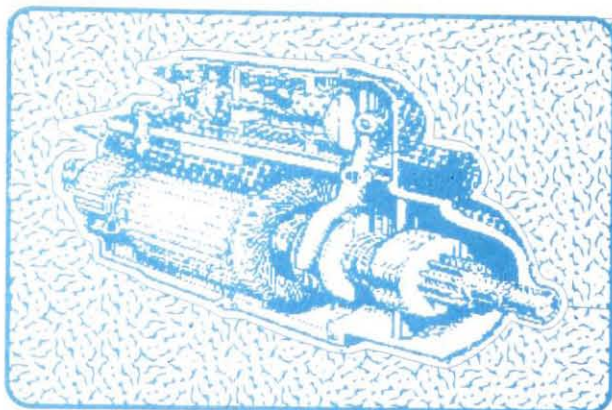
- Ordenar las fechas de vencimiento de manera vertical.
- Cancelar con el sello de "DEVUELTO" la fecha de vencimiento a la entrega del libro



2893964

UAM	2893964
TK2511	Buitrón Sánchez, Horacio
B8.5	Introducción al control d





0092101 04443



25.00 - \$ 25.00

Division de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Departamento de Energía



Coordinación de Extensión Universitaria  
Sección de Producción y Distribución Editoriales